



**Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Civil**

Características de Visibilidade das Marcas Rodoviárias

Juliett da Silva Vicente

– Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação –

Orientador: Prof. Doutor Carlos Manuel Rodrigues (Professor Auxiliar FEUP)

Janeiro, 2005

Agradecimentos

A elaboração de uma dissertação é um trabalho solitário, mas também solidário. O contributo de diversas pessoas e instituições, traduziu-se em apoio, incentivo e persistência que ajudaram a minimizar os momentos de desânimo e obstáculos a ultrapassar.

O meu profundo reconhecimento e gratidão vão para as seguintes pessoas:

Ao Professor Carlos Manuel Rodrigues, devo a orientação, ensinamentos e incentivo que em muito contribuíram para a selecção do tema desta dissertação e para os meus actuais conhecimentos nesta matéria. A ele quero expressar o meu agradecimento pela amizade, apoio, estímulo e permanente disponibilidade demonstradas.

Ao Professor Jorge Santos do Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho e ao Engenheiro António Löbbert da empresa Rapidus, pelas opiniões, ajuda e cedência dos aparelhos de medição para a execução da campanha experimental desta dissertação.

Ao Professor Jaime Ribeiro, por ter fabricado as amostras de betuminoso que permitiram a concretização da fase experimental da presente tese.

Agradecimento à Engenheira Maria Celeste Vasconcelos, da empresa Emplas e à Engenheira Teresa O'Neill, da empresa Roadpaint, pela disponibilidade manifestada em me receber e executar a pintura dos moldes de betuminoso e pelo fornecimento de algum material e documentação importante para a realização do presente trabalho.

À Dona Guilhermina, secretária da Secção de Vias de Comunicação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que teve paciência para com os meus constantes telefonemas e recados para o Professor Carlos Manuel Rodrigues, que sempre transmitiu, cuja ajuda podendo ser considerada como pequena para quem está perto da Faculdade, é uma enorme contributo para quem como eu, vive e trabalha afastada do Porto.

A todos os meus amigos, pelo apoio, preocupação e interesse condensada na pergunta: "Então? Já entregaste a tese?", desejosos pelo fim do trabalho.

Porque os últimos são os primeiros, à minha família, muito especialmente aos meus pais, José e Lília, ao meu irmão, Romeu e ao meu marido, Pedro, que aturaram os meus desabafos, frustrações e partilharam das minhas preocupações durante todo este tempo, dando o maior apoio mesmo quando me sentia cansada e sem forças. A palavra obrigada subestima e não chega para agradecer todo o seu apoio.

Por último, mais um agradecimento ao meu marido e amigo, Pedro, que sempre me acompanhou e se mostrou incansável com todas as viagens e deslocações necessárias para que esta dissertação fosse possível.

A todos muito obrigado pelos “empurrões” nesta fase da minha vida que encerra com a redacção desta dissertação.

Aos meus pais, irmão e marido

Resumo

Na investigação das características essenciais e necessárias à sinalização horizontal, mais concretamente às marcas rodoviárias, de modo a garantir um bom comportamento em termos de visibilidade, resistência ao deslizamento e durabilidade, apercebemo-nos de que por vezes a marcação rodoviária não satisfaz as necessidades dos seus utilizadores devido a um conhecimento insuficiente das características a exigir em cada situação, por parte das autoridades responsáveis pela execução das marcas rodoviárias.

É necessário a existência de especificações e recomendações nacionais, adequadas à crescente exigência de qualidade na sinalização horizontal e adaptadas à realidade da rede rodoviária existente no nosso país, que na maioria dos casos se encontra completamente desajustada, sendo perfeitamente visível no estado em que a maioria das marcas se encontram.

As exigências preconizadas nas normas europeias por vezes não se adaptam às necessidades e à realidade de cada país, sendo da responsabilidade de cada um, por parte das suas autoridades, a escolha de classes de comportamento mais adequadas a cada situação após uma correcta consideração de todos os aspectos importantes a ter em conta, de forma a uniformizar o tratamento, a nível nacional, das marcas rodoviárias, nomeadamente das características que estas devem possuir de modo a garantir a segurança dos seus utilizadores e uma transferência adequada e eficaz de informação para uma boa orientação e regulação da circulação rodoviária.

A presente dissertação procura assim contribuir para um melhor e maior conhecimento do comportamento das marcas rodoviárias, nomeadamente na escolha das características mais relevantes em cada situação específica e explora, ainda que parcialmente, o comportamento de alguns materiais utilizados na marcação rodoviária das estradas portuguesas através de um estudo experimental.

Procurou-se ainda, no presente trabalho, sensibilizar para a falta de regulamentação nacional neste campo e para a necessidade de dedicar uma maior importância ao comportamento das marcas ao longo da sua vida útil, através da inspecção, da auscultação e da conservação, sempre que necessária, das marcas rodoviárias.

Palavras-chave: Marcas Rodoviárias, Visibilidade, Iluminação difusa, Iluminação proveniente dos faróis de um automóvel, Iluminância, Luminância, Retroreflexão, Contraste, Resistência ao Deslizamento, Durabilidade

Abstract

When investigating the essential and necessary characteristics for horizontal road markings in order to assure a good performance in terms of visibility, slip/skid resistance and durability, we sometimes realise that road markings do not satisfy the necessities of their users due to an insufficient understanding and knowledge of the demanding characteristics needed in each situation on behalf of the authorities responsible for the execution of road markings.

The existence of national specifications and recommendations is essential and must be suitable to the increasing quality demands for horizontal road markings and should adapt to our national road system, that in most cases is completely inadequate, which is perfectly perceptible by the conditions in which the majority of the road marks are found.

The exigencies provided on european standards sometimes do not adapt to the necessities and reality of each country, being each one responsible for the selection of the most adequate classes of performance for each situation and the consideration of all the important aspects, so that it can be possible to uniform the treatment given to road markings on a national scale, mainly the characteristics that they should possess to guarantee security to their users and an appropriate and efficient transfer of information in order to allow a good orientation and regulation of road circulation.

The present dissertation looks forward to contribute for a better and greater understanding and knowledge of road marking performance, more specifically on the selection of the relevant characteristics for each specific situation, and it explores and examines, although partially, the behaviour of some materials used in Portugal for road markings, through an experimental campaign.

This research also looked forward to advise the lack of national regulation for road marking and the need of dedicating more importance to the supervision of road marks during their functional life, through inspection, auscultation and conservation, whenever it is necessary.

Keywords: Road Markings, Visibility, Diffuse Illumination, Illumination originated from vehicles headlamps, Illuminance, Luminance, Retroreflectivity, Contrast, Slip/Skid Resistance, Durability

Índice Geral

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento.....	2
1.2 Objectivos.....	3
1.3 Estrutura do Trabalho.....	4

Capítulo 2

Marcas Rodoviárias

2.1 Breve Introdução Histórica	7
2.2 Regulamentação Nacional	9
2.3 Funções e Classes das Marcas Rodoviárias	10
2.3.1 Marcas Longitudinais.....	12
2.3.2 Marcas Transversais	15
2.3.3 Marcas Reguladoras do Estacionamento e Paragem	17
2.3.4 Marcas Orientadoras de Sentidos de Trânsito	20
2.3.5 Marcas Diversas e Guias.....	21
2.4 Tipos de Marcação.....	24

Capítulo 3

Características das Marcas Rodoviárias

3.1 Introdução	27
3.2 Visibilidade	28
3.2.1 Formas de Iluminação e Reflexão	30
3.2.2 Influência da Idade na Visibilidade	32
3.3 Requisitos Exigidos aos Materiais Utilizados em Marcação Rodoviária	33
3.3.1 Características de Visibilidade.....	33
3.3.1.1 Cor	34
3.3.1.2 Reflexão em Condições de Iluminação Difusa	38
3.3.1.3 Retroreflexão em Condições de Iluminação Proveniente dos Faróis	41
3.3.2 Outras Características	44
3.3.2.1 Resistência ao Deslizamento	44
3.3.2.2 Durabilidade e Desgaste	46

3.4 Métodos de Medição	47
3.4.1 Factor de Luminância, β	47
3.4.2 Coeficiente de Luminância em Condições de Iluminação Difusa, Q_d , e Coeficiente de Luminância Retroreflectida, R_L	47
3.4.2.1 Medição em Campo.....	47
3.4.2.2 Medição Laboratorial	51
3.5 Ensaaios a Efectuar e Parâmetros a Analisar	52
3.6 Inspeção Visual, Auscultação e Conservação das Marcas	55

Capítulo 4

Materiais e Processos de Aplicação

4.1 Introdução	59
4.2 Materiais de Marcação e suas Aplicações	59
4.2.1 Tintas Acrílicas de Um Componente	60
4.2.2 Tintas Acrílicas de Dois Componentes.....	60
4.2.3 Tintas Termoplásticas.....	61
4.2.4 Telas Retroreflectoras	62
4.2.5 Pérolas Reflectoras	63
4.3 Características Exigidas às Tintas Utilizadas em Marcação Rodoviária.....	63
4.4 Características Exigidas às Telas Retroreflectoras Permanentes	71
4.5 Regulamentação Aplicável em Alguns Países Europeus	74
4.6 Métodos de Execução das Marcas Rodoviárias	80
4.6.1 Fases de Execução	80
4.6.2 Equipamentos Utilizados na Execução das Marcas Rodoviárias.....	82
4.7 Métodos de Eliminação das Marcas Rodoviárias	83

Capítulo 5

Estudo Experimental

5.1 Objectivos do Estudo Experimental	86
5.2 Caracterização dos Materiais Utilizados	87
5.3 Caracterização dos Equipamentos Utilizados para Medição	88
5.4 Condições e Realização das Medições	91
5.5 Resultados das Medições	93
5.6 Evolução das Características de Visibilidade com o Número de Rodados.....	105

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas Futuras de Desenvolvimento 110

Referências Bibliográficas 118

Índice de Figuras

Capítulo 2

Marcas Rodoviárias

Figura 1 – Primeira viagem de automóvel.....	7
Figura 2 – Pérolas reflectoras	8
Figura 3 – Marcas rodoviárias.....	10
Figura 4 – Marcas longitudinais	12
Figura 5 – Linha contínua, marca M1, [4]	12
Figura 6 – Linha descontínua, marca M2, [4].....	13
Figura 7 – Linha mista, marca M3, [4].....	13
Figura 8 – Linha descontínua de aviso, marca M4, [4]	13
Figura 9 – Linha delimitadora de vias com sentido reversível, marca M5, [4]	14
Figura 10 – Linha descontínua de abrandamento, marca M6, ou de aceleração, marca M6a, [4].....	14
Figura 11 – Linha do corredor de circulação contínua, marca M7 ou descontínua, marca M7a, [4].....	15
Figura 12 – Marcas transversais.....	15
Figura 13 – Linha de paragem, marca M8 ou linha de paragem com símbolo STOP, marca M8a, [4].....	16
Figura 14 – Linha de cedência de prioridade, marca M9 ou linha de cedência de prioridade com Símbolo, marca M9a, [4].....	16
Figura 15 – Linha de passagem para ciclistas, marca M10 ou marca M10a, [4].....	17
Figura 16 – Passagem para peões, marca M11 ou marca M11a, [4]	17
Figura 17 – Linha contínua, marca M12 ou marca M12a, [4].....	18
Figura 18 – Linha descontínua, marca M13 ou marca M13a, [4].....	18
Figura 19 – Linha em ziguezague, marca M14, [4]	18
Figura 20 – Paragem e estacionamento para cargas e descargas, marca M14a, [4].....	19
Figura 21 – Lugares delimitadores de estacionamento de veículos, [4]	19
Figura 22 – Marcas orientadoras dos sentidos de trânsito	20
Figura 23 – Setas de selecção, marca M15, M15a, M15b, M15c, M15d, M15e ou M15f, [4]	20
Figura 24 – Setas de desvio, marca M16, M16a ou M16b, [4].....	21
Figura 25 – Raias oblíquas delimitadas por linha contínua, marca M17 ou M17a, [4].....	21
Figura 26 – Cruzamento ou entroncamento facilmente congestionável, marca M17b, [4]	22
Figura 27 – Listas alternadas de cor amarela e preta, marca M18, [4].....	22
Figura 28 – Guias laterais, marca M19, [4]	23

Figura 29 – Bandas cromáticas, marca M20, [4].....	23
Figura 30 – Marcas de segurança, marca M21, [4].....	23
Figura 31 – Marcas rodoviárias com ressaltos.....	24

Capítulo 3

Características das Marcas Rodoviárias

Figura 32 – Contraste entre a marca rodoviária e o pavimento	29
Figura 33 – Reflexão difusa	30
Figura 34 – Retroreflexão	31
Figura 35 – Influência da presença de água no pavimento	31
Figura 36 – Contraste relativo necessário para manter um bom comportamento visual, [7] .	32
Figura 37 – Comprimento de onda, λ	35
Figura 38 – Espectro de cores em função do comprimento de onda.....	35
Figura 39 – Diagrama cromático CIE 1931, [7]	36
Figura 40a – Região cromática para marcas rodoviárias brancas, [9]	37
Figura 40b – Região cromática para marcas rodoviárias amarelas de utilização permanente, [9]	37
Figura 40c – Região cromática para marcas rodoviárias amarelas de utilização temporária, [9]	37
Figura 41 – Equipamento para medição da resistência ao deslizamento.....	44
Figura 42 – Ângulo de observação	49
Figura 43 – Ângulo de iluminação.....	50
Figura 44 – Ecodyn	55
Figura 45 – Acompanhamento das marcas rodoviárias.....	57

Capítulo 4

Materiais e Processos de Aplicação

Figura 46 – Aplicação de tinta acrílica de um componente com máquina própria.....	60
Figura 47 – Aplicação de tinta acrílica de dois componentes com uma espátula ou equipamento especializado	61
Figura 48 – Aplicação de tinta termoplástica com equipamento específico.....	61
Figura 49 – Telas retroreflectoras	62
Figura 50 – Incorporação das pérolas reflectoras na marca rodoviária	63
Figura 51 – Máquina de pintura a quente	83
Figura 52 – Máquina de pintura a frio	83

Figura 53 – Fresadoras	84
------------------------------	----

Capítulo 5

Estudo Experimental

Figura 54 – Molde de pavimento betuminoso	87
Figura 55 – Pintura dos moldes com tinta acrílica	88
Figura 56 – Pintura dos moldes com tinta termoplástica	88
Figura 57 – “Minolta Luminance Meter LS-110”	89
Figura 58 – “J18 Lumacolor II Photometer”	90
Figura 59 – “J1811 Illuminance Head”	90
Figura 60 – Retroreflectómetro “ZRM 1013+”	91
Figura 61 – Condições de medição	92
Figura 62 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados.....	106
Figura 63 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados.....	106
Figura 64 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância retroreflectida em piso molhado para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados.....	106
Figura 65 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para uma tinta acrílica de um componente branca, em função do número de rodados.....	107
Figura 66 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para uma tinta acrílica de um componente branca, em função do número de rodados	107

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas Futuras de Desenvolvimento

Figura 67 – Marcação rodoviária pouco visível e legível	111
Figura 68 – Via não sinalizada horizontalmente	112
Figura 69 – Processo de recobrimento não adequado para eliminação de marcas rodoviárias	112
Figura 70 – Condução moderada	115

Figura 71 – Trabalhos de conservação.....	115
---	-----

Índice de Quadros

Capítulo 3

Características das Marcas Rodoviárias

Quadro 1 – Pontos que definem as regiões cromáticas para marca rodoviária branca e amarela, [9 adoptado].....	36
Quadro 2 – Classes do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , para marcas rodoviárias em piso seco, [9]	39
Quadro 3 – Classes do factor de luminância, β , para marcas rodoviárias em piso seco, [9].	40
Quadro 4 – Classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias em piso seco, [9].....	42
Quadro 5 – Classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias em piso molhado, [9]	43
Quadro 6 – Classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias em situação de chuva, [9].....	43
Quadro 7 – Classes de acordo com o teste do pêndulo, PTV , [9]	45
Quadro 8a – Granulometria das pérolas introduzidas previamente na tinta, [11].....	54
Quadro 8b – Granulometria das pérolas projectadas no momento da aplicação da tinta, [11]	55

Capítulo 4

Materiais e Processos de Aplicação

Quadro 9 – Classificação das tintas utilizadas nas marcações rodoviárias, [14].....	64
Quadro 10 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias brancas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14]	65
Quadro 11 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14]	66
Quadro 12 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias brancas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]	66
Quadro 13 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]	67
Quadro 14 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interacções múltiplas, de marcas rodoviárias brancas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14].....	67
Quadro 15 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interacções múltiplas, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14].....	68

Quadro 16 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de marcas rodoviárias brancas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]	68
Quadro 17 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]	69
Quadro 18 – Resumo dos valores mínimos a respeitar para o critério “pass/fail”	70
Quadro 19 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de telas brancas permanentes, [15].....	72
Quadro 20 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de telas amarelas permanentes, [15].....	72
Quadro 21 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de telas brancas permanentes, [15].....	73
Quadro 22 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de telas amarelas permanentes, [15].....	73
Quadro 23 – Regulamentos nacionais existentes para tintas acrílicas de um componente, tintas termoplásticos e tintas acrílicas de dois componentes, [8].....	75
Quadro 24 – Regulamentos nacionais existentes para telas retroreflectoras, [8].....	76
Quadro 25 – Regulamentos nacionais existentes para esferas de vidro aplicadas durante a pintura da marca rodoviária, [8].....	78
Quadro 26 – Regulamentos nacionais existentes para agregados anti-deslizamento aplicados durante a pintura da marca rodoviária, [8]	79

Capítulo 5

Estudo Experimental

Quadro 27a – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de um componente	93
Quadro 27b – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de dois componentes	93
Quadro 27c – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta termoplástica.....	94
Quadro 28a – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de um componente.....	94
Quadro 28b – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de dois componentes	94
Quadro 28c – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta termoplástica.....	94

Quadro 29a – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de um componente	95
Quadro 29b – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de dois componentes	95
Quadro 29c – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta termoplástica.....	95
Quadro 30a – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de um componente	96
Quadro 30b – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de dois componentes	96
Quadro 30c – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta termoplástica.....	96
Quadro 31a – Resumo dos valores de luminância e de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco.....	97
Quadro 31b – Resumo dos valores de luminância e de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco	97
Quadro 32 – Valores do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para a situação de céu limpo e piso seco.....	99
Quadro 33 – Valores do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para a situação de céu nublado e piso seco	99
Quadro 34a – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para tinta acrílica de um componente	100
Quadro 34b – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para tinta acrílica de dois componentes.....	100
Quadro 34c – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para tinta termoplástica	101
Quadro 35 – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco.....	101
Quadro 36a – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para o pavimento betuminoso.....	103
Quadro 36b – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para o pavimento betuminoso.....	103
Quadro 37a – Valores do contraste para a campanha experimental diurna com céu limpo e piso seco	103
Quadro 37b – Valores do contraste para a campanha experimental diurna com céu nublado e piso seco	104

Quadro 38 – Valores que traduzem a evolução das características de visibilidade para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados 105

Quadro 39 – Valores que traduzem a evolução das características de visibilidade para uma tinta acrílica de um componente branca, em função do número de rodados.. 105

Capítulo 1
Introdução

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

A condução de um automóvel requer uma grande quantidade de informação em relação à envolvente, transmitida por meio de sinalização ou indicações de outra espécie que se transmitem mediante objectos situados dentro do campo de visão do condutor, como, o bordo do pavimento, taludes, barreiras, etc. Esta actividade pode definir-se essencialmente como uma “tarefa de controlo”, que implica um processamento da informação obtida e tomada de decisões.

Estes sinais e estas indicações constituem uma fonte de informação e existem com o propósito único de transmitir ao condutor uma mensagem específica, fazendo referência às regras de circulação que informam os perigos eventuais dando indicações gerais ou de direcção. Esta mensagem está directamente relacionada com a condução e em particular com a reacção e resposta por parte do condutor.

Durante a noite ou em condições de visibilidade reduzida (nevoeiro, neve ou chuva persistente), a maioria dos indicadores não-luminosos deixam de ser visíveis, sendo necessário adoptar medidas complementares com o fim de manter uma transferência de informação adequada. Esta transferência de informação é conseguida graças à iluminação artificial, nomeadamente iluminação pública e iluminação proveniente dos faróis dos automóveis.

Por outras palavras, durante a noite, a maioria dos indicadores estão fora do campo de visão do condutor, não estando visíveis aos olhos deste. Consequentemente, o condutor terá de se orientar utilizando, quase exclusivamente, as marcas rodoviárias, desde que estas possuam propriedades reflectoras, ou seja, tenham capacidade de reflectir a luz incidente na direcção do condutor.

Assim se percebe a importância das marcas rodoviárias, que de noite, são quase exclusivamente a única orientação existente para os condutores.

Durante muitos anos, a sinalização rodoviária foi considerada uma actividade secundária que só o desenvolvimento e a exigência do mundo actual inverteu, mostrando assim a importância informativa e reguladora que esta possui.

As marcas rodoviárias ajudam os condutores a manterem-se dentro da sua via correspondente, pois permitem uma clara limitação desta, proporcionando uma orientação óptica valiosa, principalmente quando se conduz em condições de visibilidade reduzida. Um sistema de sinalização horizontal serve para facilitar a orientação do condutor e melhorar a fluidez do tráfego, fazendo com que a condução resulte mais segura e cómoda.

Está demonstrado num estudo feito por Johansson e Backlund (1970), que o condutor concentra muito mais atenção nas marcas rodoviárias do que nos sinais verticais, pois estas têm a vantagem de permanecerem visíveis em determinadas condições, tal como, alta densidade de tráfego. Deste modo, as marcas rodoviárias não são mais consideradas como complemento da sinalização vertical, mas sim como um equipamento insubstituível da via, cujo custo-benefício não se pode menosprezar.

1.2 Objectivos

A sinalização horizontal das estradas em Portugal tem sido repetidamente feita sem que a esta seja dada a devida atenção e sem que haja um conhecimento adequado e aprofundado das características essenciais e necessárias, por parte das autoridades responsáveis pela execução das marcas rodoviárias, de modo a garantir uma boa performance destas e uma consequente melhoria da segurança rodoviária. Esta situação é lamentável, pois a intensidade de tráfego actualmente existente na nossa rede rodoviária, é razão necessária e mais que suficiente para que se dê cada vez maior importância à sinalização horizontal.

O pouco conhecimento existente, sobre as características essenciais e necessárias às marcas rodoviárias, tem por base a experiência que as instituições que administram o sistema rodoviário português foram adquirindo ao longo do tempo, fundamentada em recomendações de entidades estrangeiras, nomeadamente europeias. Esta posição tem permitido estabelecer parâmetros empíricos, baseados na experiência, de modo a satisfazer as necessidades dos condutores e da uniformização das marcas rodoviárias.

O presente trabalho possui como objectivos principais os seguintes:

- Análise das características essenciais a exigir às marcas rodoviárias, com particular enfoque nas relacionadas com a visibilidade, de modo a permitir uma orientação visual e uma transmissão de informação adequada como garantia da segurança na tarefa da condução;

- Referência aos requisitos exigidos à marcação rodoviária no contexto normativo europeu, devido à ausência de normas portuguesas capazes de garantir a uniformidade de tratamento, ao nível nacional, das marcas rodoviárias;
- Descrição dos diferentes produtos e processos de aplicação utilizados na materialização da sinalização horizontal.

Como objectivo complementar destes objectivos principais, e que para eles contribui, analisou-se uma pequena amostra de alguns materiais utilizados nas estradas portuguesas para a materialização das marcas rodoviárias e avaliaram-se algumas das suas características de visibilidade. Em função disto, avaliou-se ainda o contraste existente entre o material e a superfície do pavimento, condição esta, muito importante para a percepção da marca por parte do condutor. Por fim analisaram-se alguns relatórios de homologação de forma a obter conhecimento sobre a evolução de algumas características de visibilidade em função do número de passagens de rodados.

Pretende-se assim contribuir para um maior conhecimento do comportamento das marcas e da importância que a inspecção, auscultação e conservação destas possui.

Foi à luz da legislação nacional existente, das orientações normativas da ex-Junta Autónoma das Estradas, JAE, em vigor e da tendência do já citado e desejado consenso europeu que este trabalho encontra a sua base.

1.3 Estrutura do Trabalho

A dissertação está estruturada em várias etapas que correspondem às diferentes abordagens feitas no presente trabalho para uma adequada caracterização das marcas rodoviárias, atingindo assim os objectivos propostos. Esta está organizada em seis capítulos, dos quais o primeiro é a presente introdução.

No capítulo 1 apresenta-se o enquadramento do tema, seguido de uma descrição da importância da sinalização horizontal como equipamento indispensável de orientação na estrada e por fim apresentam-se os objectivos a atingir com a presente dissertação e a descrição da estrutura do presente trabalho.

O capítulo 2 inicia-se com uma breve introdução histórica seguida de uma breve referência à regulamentação nacional existente. Enunciam-se as principais funções da marcação rodoviária como orientação visual do condutor e regulação do tráfego e descrevem-se as

diferentes classes das marcas rodoviárias existentes e as funções de cada uma. No presente capítulo faz-se ainda uma breve descrição dos tipos de marcação rodoviária.

No capítulo 3 enunciam-se os princípios gerais da sinalização horizontal que contribuem para uma boa legibilidade e visibilidade das marcas rodoviárias, analisam-se os conceitos e unidades base relevantes para a compreensão do presente trabalho e identificam-se os requisitos exigidos aos materiais utilizados na marcação rodoviária para garantir um bom comportamento destas em variadas situações e condições. Faz-se ainda uma breve referência à influência da idade na visibilidade e descrevem-se os métodos utilizados na avaliação das características de visibilidade. Por último, analisam-se os ensaios a efectuar e os parâmetros a analisar em campo e em laboratório e efectua-se uma breve referência à importância da inspecção, auscultação e conservação das marcas rodoviárias.

No capítulo 4 apresenta-se uma descrição dos diferentes materiais utilizados na marcação rodoviária e suas aplicações. Analisam-se as características mínimas exigidas na definição do critério “pass/fail” para os vários materiais utilizados e faz-se uma breve referência à regulamentação aplicável em alguns países europeus para os diferentes materiais. Termina-se com uma descrição dos processos de aplicação e execução das marcas rodoviárias e descrição dos equipamentos utilizados, seguido de uma breve referência aos métodos empregues na sua eliminação.

O capítulo 5 inicia-se com uma descrição do estudo experimental realizado a alguns materiais utilizados nas estradas portuguesas para a materialização das marcas rodoviárias e caracteriza os materiais analisados e os equipamentos utilizados no presente trabalho para a medição de algumas características de visibilidade. Analisa ainda os resultados obtidos das amostras e compara os seus valores com os exigidos pelas normas europeias e ainda avalia o contraste existente entre os diferentes materiais analisados e a superfície do pavimento. Por fim analisa alguns relatórios de homologação que caracterizam o comportamento de alguns produtos em função do tempo, ou seja, em função do número de passagens de rodados.

Finalmente, no capítulo 6 efectua-se uma síntese das principais conclusões obtidas com a presente dissertação e faz-se uma breve referência às perspectivas de desenvolvimento futuras.

Capítulo 2

Marcas Rodoviárias

Capítulo 2

Marcas Rodoviárias

2.1 Breve Introdução Histórica

As marcações de caminhos, sob a forma de pequenas pedras brancas na faixa de rodagem, já eram conhecidas em Pompeia, antes da era cristã, [1].

Cerca de 20 anos após a lendária primeira viagem de um automóvel, em 1911, (Figura 1), começaram a ser utilizadas em Michigan, nos EUA, linhas centrais brancas nas zonas de pontes e curvas.



Figura 1 – Primeira viagem de automóvel

Após a I Guerra Mundial surgiram pela primeira vez marcações em várias cidades alemãs. Com o aparecimento dos primeiros troços de auto-estrada, houve a necessidade de os equipar com traços de marcação, levando ao surgimento do primeiro regulamento provisório que começou por regulamentar os seguintes pontos:

- O centro da faixa de rodagem é marcado com um traço de 15 cm de largura que, nos pavimentos claros é de cor preta e nos pavimentos pretos é de cor branca;
- As bermas da faixa de rodagem deviam também ser marcadas com um traço branco de 15 cm de largura, nos casos em que se revelasse necessário.

Devido ao aumento considerável do número de veículos em circulação e consequente construção de mais e melhores estradas, houve necessidade de evoluir tecnologicamente de modo a garantir segurança na condução, surgindo assim, em 1938, os primeiros

requisitos técnicos a exigir aos materiais aplicados na marcação rodoviária, que eram os seguintes:

- Boa capacidade de aderência e resistência suficiente às intempéries;
- Possibilidade de aplicação à pistola;
- Tempo de secagem reduzido;
- Superfície fosca, sem brilho;
- Duração de pelo menos seis meses e de preferência um ano.

Como seria de esperar, a segurança da condução nocturna, com fraca luminosidade, conduziu à necessidade de melhorar a qualidade das marcas rodoviárias existentes de modo a permitir uma melhor visibilidade destas por parte do condutor a distâncias confortáveis, garantindo assim uma circulação rodoviária fluida e segura.

Com vista a atingir este objectivo, foram efectuadas experiências nos EUA, em 1938, utilizando esferas finas de vidro incorporadas na marcação rodoviária, mais conhecidas por “pérolas reflectoras”, (Figura 2), que de noite, onde a única iluminação existente é a proveniente dos faróis do automóvel, servem de guia óptico ao condutor, devido à devolução da luz incidente, sobre as pérolas reflectoras, transmitida pelos faróis. Este fenómeno óptico provoca um efeito de brilho das marcas, permitindo assim que estas se tornem claramente visíveis ao condutor, auxiliando-o na sua tarefa de manter o veículo dentro da respectiva via de circulação.



Figura 2 – Pérolas reflectoras

Na Alemanha, as denominadas “pérolas reflectoras” só começaram a ser utilizadas em 1950, tendo sido inicialmente importadas para as experiências, já que a produção nacional de pérolas reflectoras só se iniciou em 1953, ano em que as marcações rodoviárias foram elevadas à categoria de sinais de trânsito de acordo com o código da estrada alemão, fazendo assim habitual e naturalmente parte da sinalização das estradas.

Em Portugal, as primeiras orientações técnicas surgiram a 29 de Janeiro de 1959 através da Circular nº1, pelo Ministério das Obras Públicas. Devido a uma rede rodoviária em evolução, os valores apontados por esta circular rapidamente se desajustaram da realidade, levando à necessidade de criação da primeira norma portuguesa – Norma de Marcas Rodoviárias, datada de 1995, pela Junta Autónoma de Estradas, cujo objectivo principal consistia em fornecer um conjunto de regras técnicas a seguir de modo a garantir um tratamento adequado das marcas rodoviárias a nível nacional, uniformizando estas para que houvesse uma transmissão fácil e clara de informação ao condutor, levando a uma melhor leitura e compreensão.

A nível europeu, a preocupação com o desempenho técnico das marcas rodoviárias tem suscitado a procura de soluções tecnológicas mais adequadas. A tentativa de uniformizar as marcas rodoviárias, tem levado a comunidade a procurar encontrar consensos possíveis no seio de um grupo de trabalho constituído por vários países, com vista à definição das recomendações possíveis e obrigatórias de serem seguidas por todos na rede transeuropeia.

Esta necessidade de uniformizar o emprego dos materiais utilizados na marcação rodoviária, especialmente no que se refere à sua forma, cor e características essenciais, tem conduzido ao estabelecimento de uma série de normativas e regulamentos europeus. Nestes documentos são especificados os requisitos essenciais de acordo com as necessárias adaptações e modernizações que se impõem quer pela realidade existente, quer pelo estado em que as marcas se encontram, que na maioria dos casos estão completamente desajustados da realidade da rede rodoviária.

2.2 Regulamentação Nacional

A regulamentação nacional existente consiste em três documentos oficiais:

- Código da Estrada (Decreto-Lei nº 265-A/2001);
- Regulamento de Sinalização do Trânsito (Decreto Regulamentar nº 22-A/98);
- Norma de Marcas Rodoviárias (Junta Autónoma de Estradas, 1995).

Estes documentos normalizam as condições em que os sinais de trânsito podem ser usados, os aspectos técnicos da sua aplicação, bem como o respectivo significado, de forma a regular convenientemente a circulação rodoviária, disciplinando o trânsito de veículos, de modo a que sejam asseguradas condições de segurança rodoviária.

Devido à diversidade existente de sinais de trânsito, a regulamentação nacional estabelece uma hierarquia entre prescrições, de modo a classificar de uma forma ordenada a prevalência que alguns sinais têm sobre outros, ajudando os utentes das vias públicas a decidirem de forma correcta e rápida o modo como devem proceder, minimizando assim os erros.

A hierarquia decrescente entre as prescrições da sinalização é a seguinte:

- Prescrições resultantes da *Sinalização Temporária* que modifiquem o regime normal de utilização da via;
- Prescrições resultantes dos *Sinais Luminosos*;
- Prescrições resultantes dos *Sinais Verticais*;
- Prescrições resultantes das *Marcas Rodoviárias*.

2.3 Funções e Classes das Marcas Rodoviárias

De acordo com os três documentos oficiais mencionados anteriormente, as marcas rodoviárias são linhas ou sinais – reflectorizadas ou não – que se situam sobre a superfície do pavimento e que têm como objectivo regular a circulação rodoviária, advertir e orientar, tornando-a segura e funcionando como guia óptico para auxiliar os condutores, podendo ser utilizadas isoladamente ou em conjunção com outros meios de sinalização que reforcem ou clarifiquem o seu significado.

Estas, podem ser classificadas em temporárias ou permanentes, sendo as temporárias de cor amarela e as permanentes de cor branca, (Figura 3), com a excepção das marcas reguladoras de estacionamento e paragem que são permanentes, mas de cor amarela.

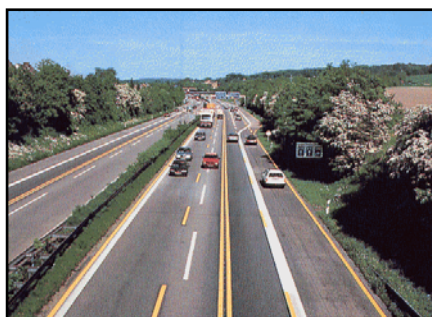


Figura 3 – Marcas rodoviárias

As marcas rodoviárias desempenham uma grande variedade de funções relacionadas com diferentes níveis de toma de decisões, de entre as quais se podem destacar como mais importantes as seguintes, [2]:

- Selecção de itinerário;
- Selecção de manobras específicas;
- Controlo sobre determinadas manobras como, por exemplo, traçado de curvas, intersecções;
- Selecção e controlo de manobras elementares em relação ao manejo do veículo, basicamente no controlo da posição lateral dentro das vias de circulação;
- Definição inequívoca das zonas do pavimento destinadas aos diferentes sentidos de circulação, ou à circulação de determinados tipos de veículos.

Resumindo, pode-se concluir que, as funções principais das marcas rodoviárias são:

- Orientação visual do condutor do veículo;
- Separação do tráfego em vias de circulação;
- Regulação do tráfego;
- Definição do comportamento que os utentes devem seguir;
- Apoiar e reforçar regras e sinais de trânsito.

Estas funções principais permitem uma melhoria considerável no comportamento dos condutores, aumentando a segurança na circulação especialmente em condições de baixa visibilidade e uma melhoria na fluidez do tráfego, podendo aumentar-se o seu volume sem incrementar o tempo de viagem.

Observando atentamente as funções da marcação da faixa de rodagem, verifica-se imediatamente que esta tanto funciona como orientação direcciona, como desempenha funções de sinalização do trânsito.

Por este motivo, distinguem-se então as seguintes classes de marcas rodoviárias permanentes:

- Marcas Longitudinais;
- Marcas Transversais;
- Marcas Reguladoras do Estacionamento e Paragem;
- Marcas Orientadoras dos Sentidos de Trânsito;
- Marcas Diversas e Guias.

2.3.1 Marcas Longitudinais

São linhas marcadas no pavimento, no sentido longitudinal da via, que servem para separar os dois sentidos de tráfego ou para materializar as vias de circulação existentes no mesmo sentido, (Figura 4).



Figura 4 – Marcas longitudinais

Existem vários tipos de marcas longitudinais, que transmitem diferentes indicações, [3]:

- Linha Contínua (Marca M1)

Tem como nomenclatura em projecto, LBC, e indica ao condutor a proibição de a pisar ou de a transpor e o dever de transitar à sua direita quando esta for utilizada para separar sentidos de trânsito, (Figura 5);

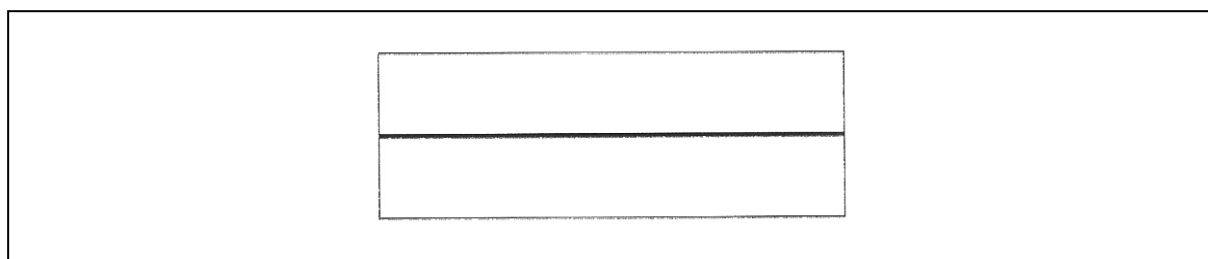


Figura 5 – Linha contínua, marca M1, [4]

- Linha Descontínua (Marca M2)

Tem como nomenclatura em projecto, LBT, e indica ao condutor o dever de se manter na via de tráfego que esta delimita, só podendo ser pisada ou transposta para efectuar manobras, (Figura 6);

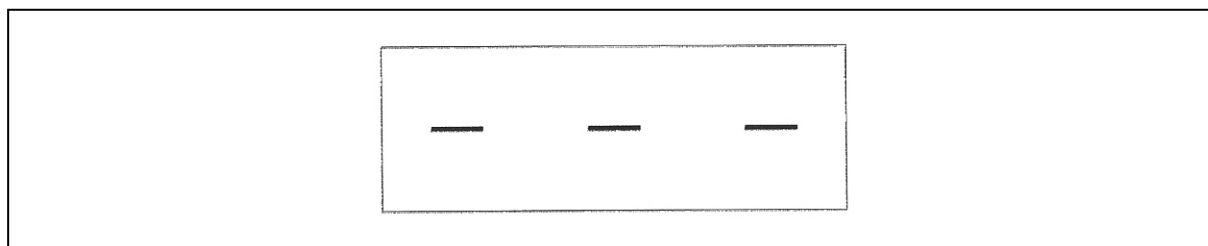


Figura 6 – Linha descontínua, marca M2, [4]

- Linha Mista (Marca M3)

Tem como nomenclatura em projecto, LBM. É constituída por uma linha contínua adjacente a uma linha descontínua e tem para o condutor o significado referido para uma marca M1 ou uma marca M2, consoante a que se encontrar mais próxima deste, (Figura 7);

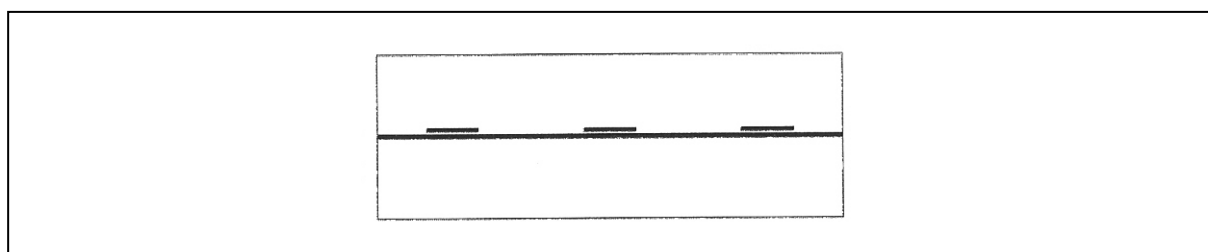


Figura 7 – Linha mista, marca M3, [4]

- Linha Descontínua de Aviso (Marca M4)

Tem como nomenclatura em projecto, LBTa. É constituída por traços de largura normal com intervalos curtos e indica a aproximação de uma linha contínua ou de uma passagem estreita, (Figura 8);

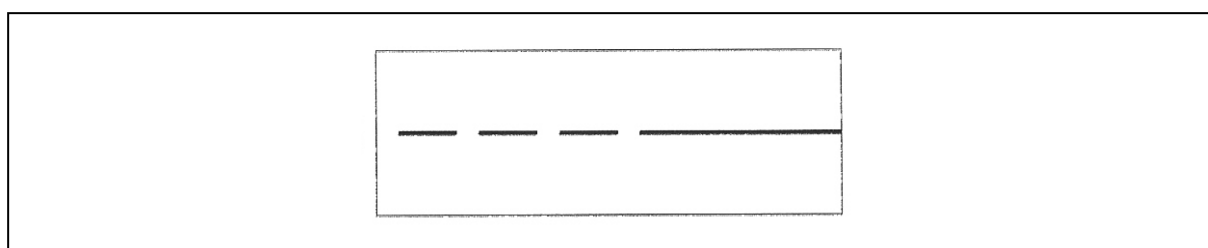


Figura 8 – Linha descontínua de aviso, marca M4, [4]

- Linha Delimitadora de Vias com Sentido Reversível (Marca M5)

Tem como nomenclatura em projecto, LBTd. É constituída por duas linhas descontínuas adjacentes e destina-se a delimitar de ambos os lados as vias cujo sentido de trânsito pode ser alterado através da utilização de outros meios de sinalização, (Figura 9);

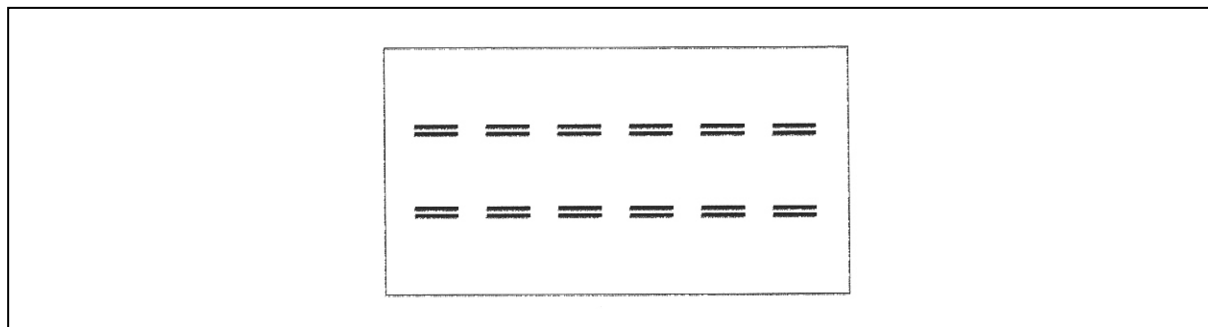


Figura 9 – Linha delimitadora de vias com sentido reversível, marca M5, [4]

- Linha Descontínua de Abrandamento (Marca M6) ou de Aceleração (Marca M6a)

Tem como nomenclatura em projecto, LBTg. É constituída por traços largos e indica a mudança para uma via em que se pratica uma velocidade diferente, mais lenta no caso de uma marca M6 e mais elevada no caso de uma marca M6a, (Figura 10);

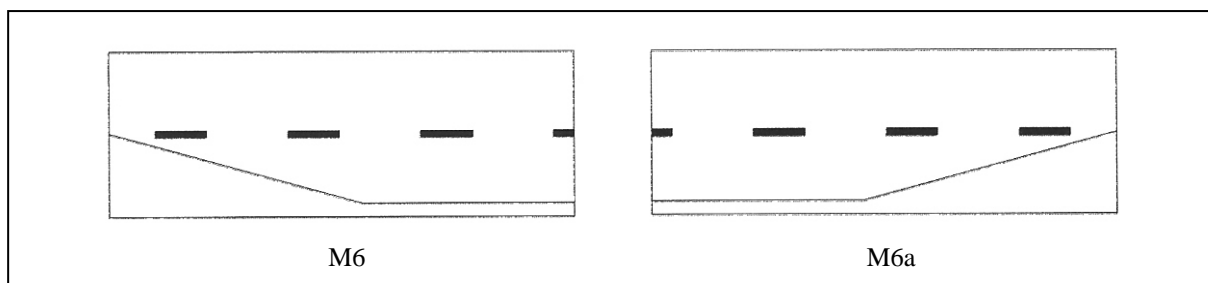


Figura 10 – Linha descontínua de abrandamento, marca M6, ou de aceleração, marca M6a, [4]

- Linha do Corredor de Circulação Contínua (Marca M7) ou Descontínua (Marca M7a)

Tem como nomenclatura em projecto, LBC ou LBT, consoante se trate de uma marca M17, ou uma marca M17a, respectivamente. É constituída por linhas largas que delimitam uma via de tráfego destinada como corredor de circulação para veículos de transporte público, devendo ser complementada pela inscrição do símbolo “BUS” no início do corredor e repetido logo após uma intersecção. Esta só deve ser pisada ou transposta para efectuar manobras, se a linha do corredor de circulação for descontínua, que é o caso da marca M17a, (Figura 11).

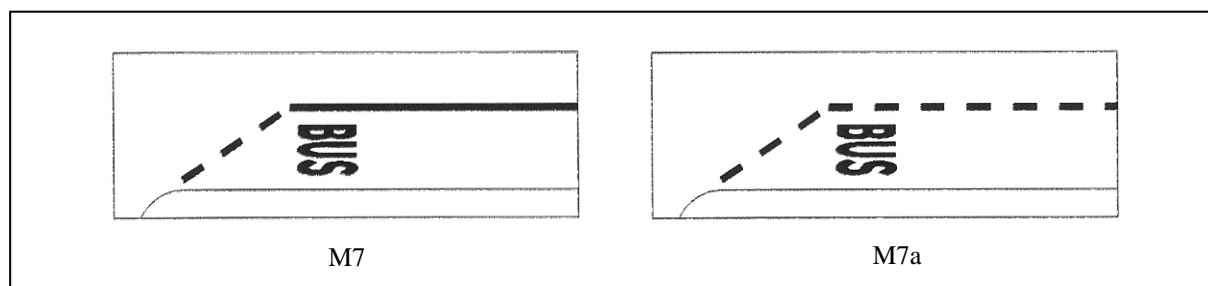


Figura 11 – Linha do corredor de circulação contínua, marca M7 ou descontinua, marca M7a, [4]

2.3.2 Marcas Transversais

São linhas marcadas no sentido transversal da faixa de rodagem, isto é, no sentido da largura da faixa, indicando o local onde os condutores devem parar quando isso lhes seja imposto por meio de sinais luminosos ou sinalização gráfica de paragem obrigatória, ou indicando o local por onde se deve efectuar o atravessamento da via, (Figura 12).



Figura 12 – Marcas transversais

Existem diversas marcas transversais, que transmitem indicações distintas, [3]:

- Linha de Paragem (Marca M8) ou Linha de Paragem com Símbolo STOP (Marca M8a)

Consiste numa linha transversal contínua que indica o local de paragem obrigatória, imposto por outro meio de sinalização. Esta linha pode ser complementada pela inscrição do símbolo “STOP” no pavimento quando a paragem seja imposta por sinalização vertical, (Figura 13);

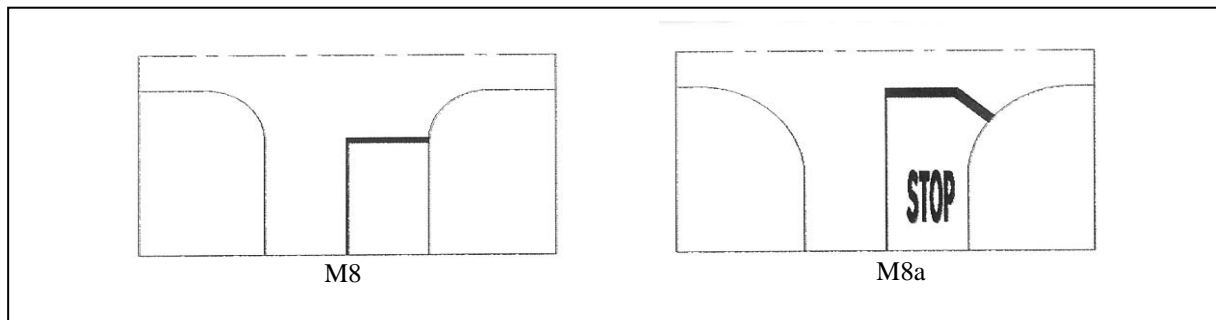


Figura 13 – Linha de paragem, marca M8 ou linha de paragem com símbolo STOP, marca M8a, [4]

- Linha de Cedência de Prioridade (Marca M9) ou Linha de Cedência de Prioridade com Símbolo (Marca M9a)

Tem como nomenclatura em projecto, LBTc. Consiste numa linha transversal descontínua que indica o local da eventual paragem, quando a sinalização vertical imponha ao condutor que dê prioridade de passagem. Esta linha pode ser complementada pela inscrição no pavimento de um símbolo em forma de triângulo, com a base paralela à marca, (Figura 14);

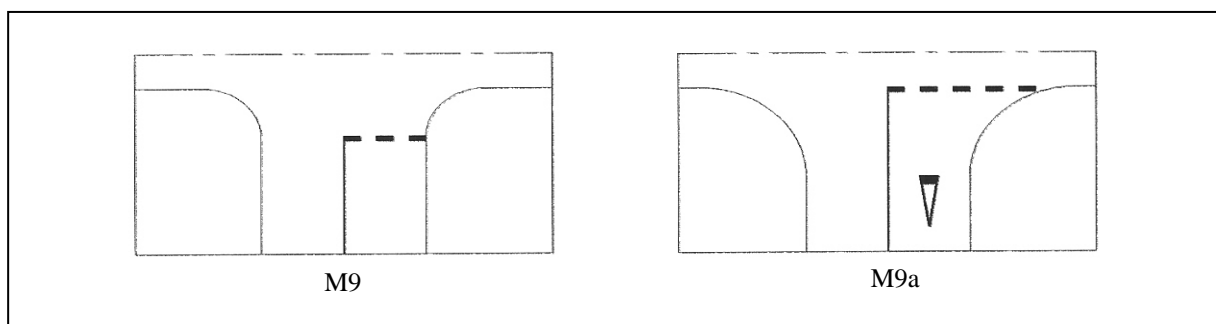


Figura 14 – Linha de cedência de prioridade, marca M9 ou linha de cedência de prioridade com Símbolo, marca M9a, [4]

- Linha de Passagem para Ciclistas (Marca M10 ou Marca M10a)

Tem como nomenclatura em projecto, LBTpc. É constituída por quadrados, marca M10, ou paralelogramos, marca M10a, consoante a obliquidade da travessia em relação ao eixo da via e indica o local por onde os ciclistas devem fazer o atravessamento da via, (Figura 15);

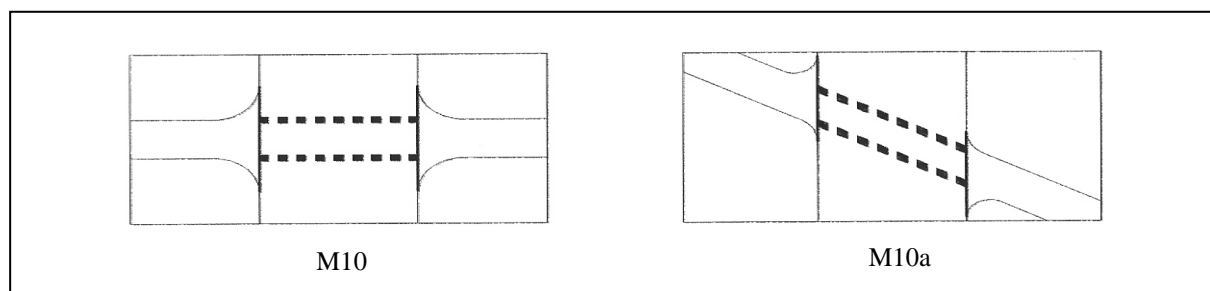


Figura 15 – Linha de passagem para ciclistas, marca M10 ou marca M10a, [4]

- Passagem para Peões (Marca M11 ou Marca M11a)

É constituída por barras longitudinais paralelas ao eixo da via e alternados por intervalos regulares, marca M11, ou por duas linhas transversais contínuas, marca M11a. Estas linhas indicam o local por onde os peões devem efectuar o atravessamento da via, (Figura 16).

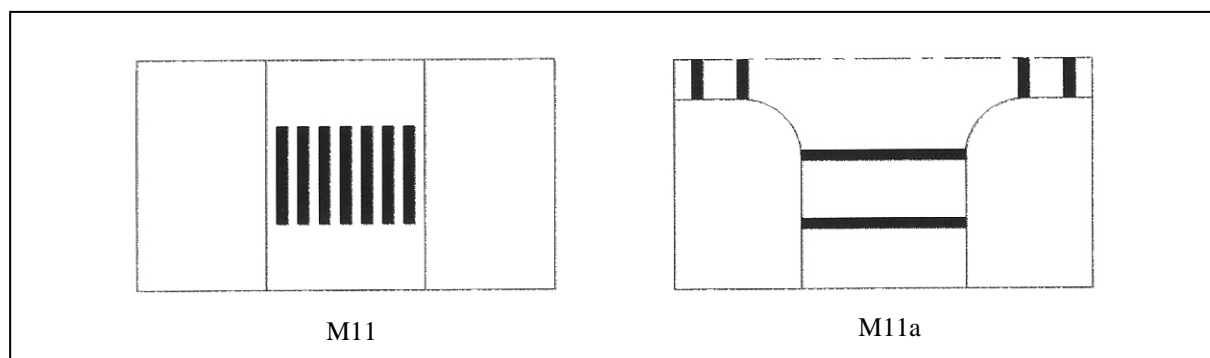


Figura 16 – Passagem para peões, marca M11 ou marca M11a, [4]

2.3.3 Marcas Reguladoras do Estacionamento e Paragem

São linhas que regulam a paragem e o estacionamento e podem ser de várias tipologias, [3]:

- Linha Contínua (Marca M12 ou Marca M12a)

Tem como nomenclatura em projecto, LAC. Esta linha poderá situar-se no bordo da faixa de rodagem, marca M12, ou sobre o passeio, marca M12a, e indica que é proibido parar ou estacionar desse lado da faixa de rodagem e em toda a extensão dessa linha. Esta proibição pode estar limitada no tempo ou a determinada espécie de veículos, de acordo com as indicações da sinalização vertical, (Figura 17);

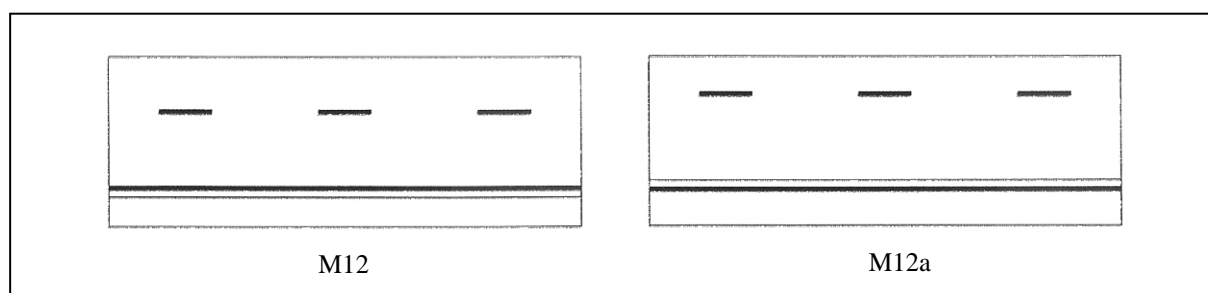


Figura 17 – Linha contínua, marca M12 ou marca M12a, [4]

- Linha Descontínua (Marca M13 ou Marca M13a)

Tem como nomenclatura em projecto, LAT. Esta linha poderá situar-se no bordo da faixa de rodagem, marca M13, ou sobre o passeio, marca M13a, e indica que é proibido estacionar desse lado da faixa de rodagem e em toda a extensão dessa linha. Esta proibição pode também limitar-se no tempo ou a determinada espécie de veículos, de acordo com as indicações da sinalização vertical, (Figura 18);

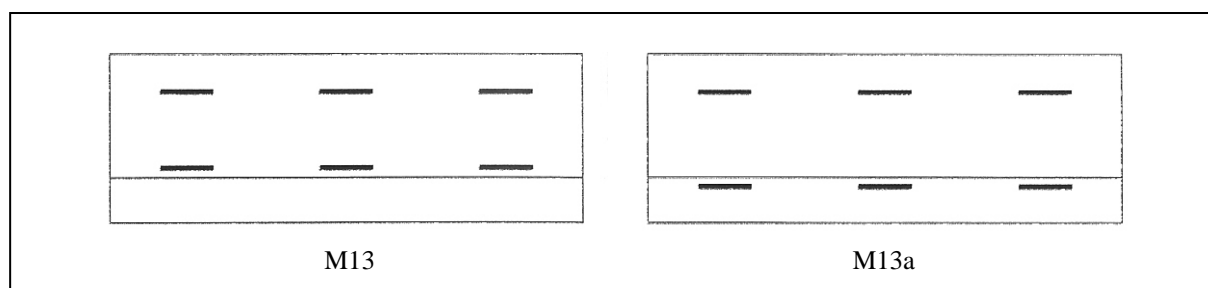


Figura 18 – Linha descontínua, marca M13 ou marca M13a, [4]

- Linha em Ziguezague (Marca M14)

Tem como nomenclatura em projecto, LAZ. Esta linha indica a proibição de estacionar do lado da faixa de rodagem em que se situa esta linha e em toda a sua extensão, (Figura 19);

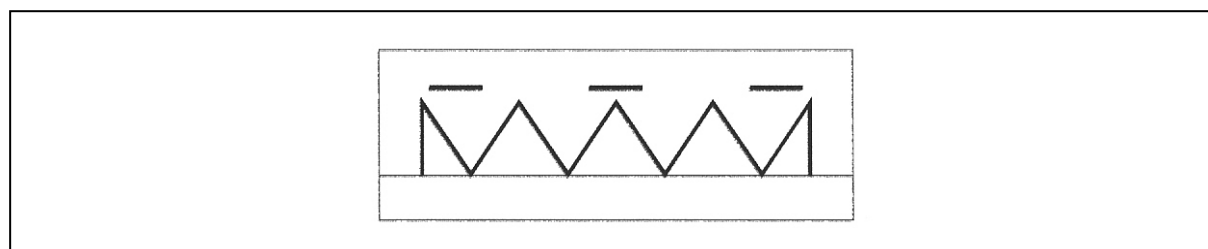


Figura 19 – Linha em ziguezague, marca M14, [4]

- Paragem e Estacionamento para Cargas e Descargas (Marca M14a)

É constituída por uma área delimitada por linhas contínuas de cor amarela e proíbe a paragem e estacionamento na área demarcada, excepto para efectuar cargas e descargas, (Figura 20);

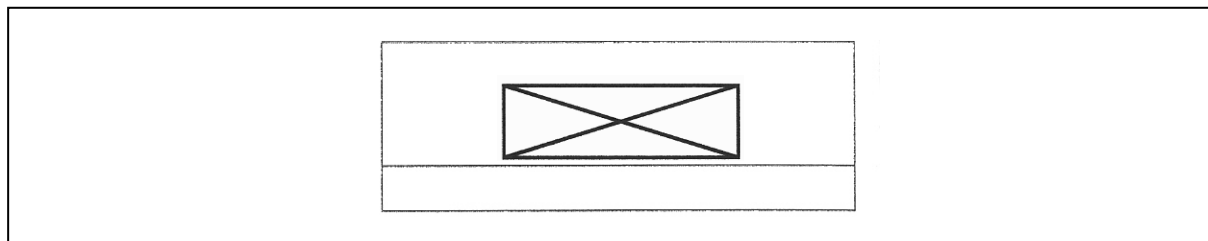


Figura 20 – Paragem e estacionamento para cargas e descargas, marca M14a, [4]

- Lugares Delimitadores de Estacionamento de Veículos

Para delimitar os lugares destinados ao estacionamento de veículos podem ser utilizadas linhas contínuas ou descontínuas de cor branca. Estas definem espaços com forma de rectângulo ou de paralelogramo, permitindo assim que os veículos estacionem perpendicularmente, obliquamente (ângulos de 30°, 45°, 60° ou 70°), ou paralelamente em relação ao eixo da via, (Figura 21). Tem como nomenclatura em projecto, LBC.

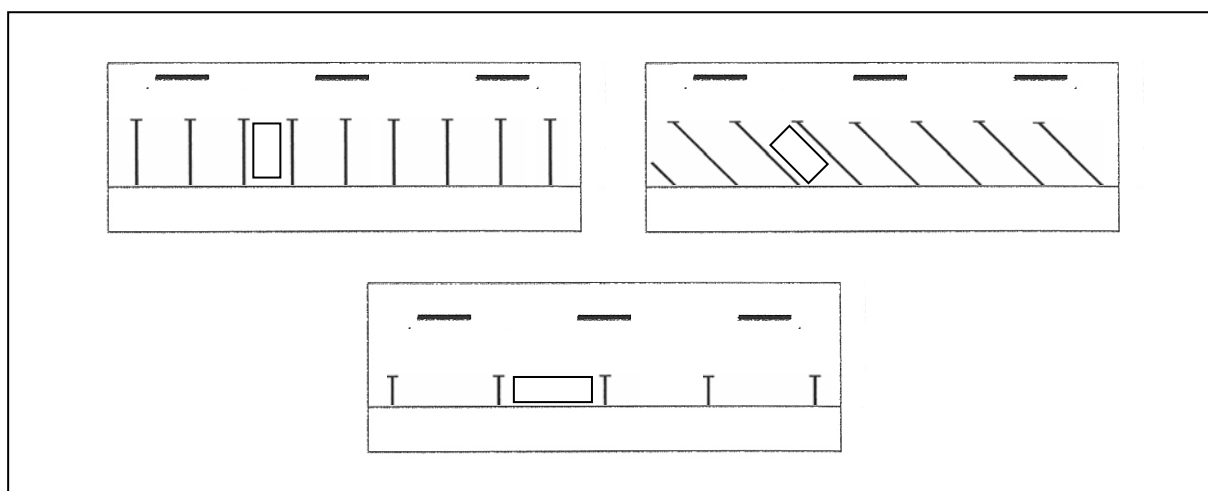


Figura 21 – Lugares delimitadores de estacionamento de veículos, [4]

2.3.4 Marcas Orientadoras de Sentidos de Trânsito

São marcadas no pavimento para orientar os condutores quanto aos sentidos de trânsito na vizinhança de cruzamentos ou entroncamentos, ou indicar a passagem para outra via, (Figura 22).

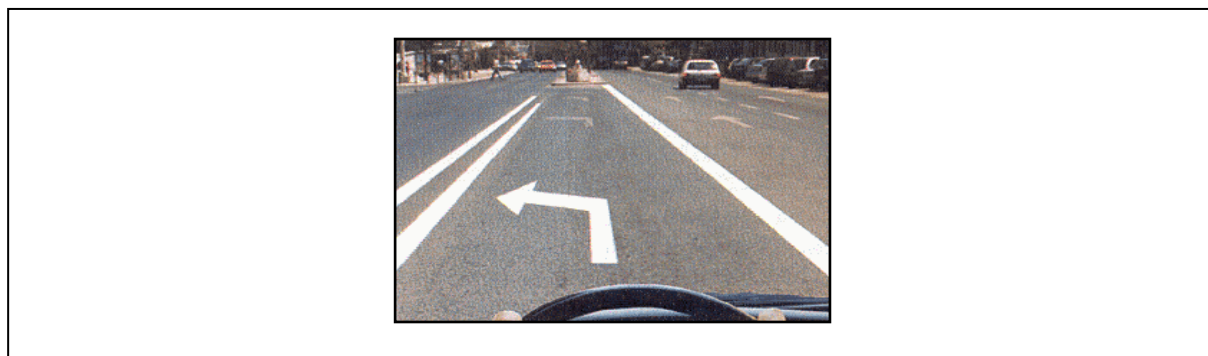


Figura 22 – Marcas orientadoras dos sentidos de trânsito

Como marcas orientadoras dos sentidos de trânsito consideram-se, [3]:

- Setas de Selecção (Marca M15, M15a, M15b, M15c, M15d, M15e ou M15f)

Estas setas são utilizadas para orientar os sentidos de trânsito na proximidade de cruzamentos ou entroncamentos e quando colocadas em vias de tráfego delimitadas por linhas contínuas estas indicam a obrigatoriedade de seguir no sentido ou num dos sentidos por elas apontadas. Estas setas podem ser antecedidas por outras com igual configuração e com função de pré-aviso, (Figura 23);

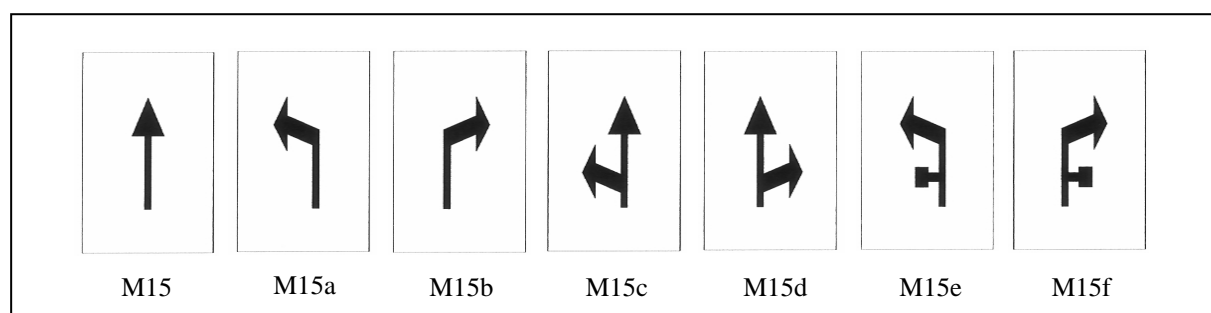


Figura 23 – Setas de selecção, marca M15, M15a, M15b, M15c, M15d, M15e ou M15f, [4]

- Setas de Desvio (Marca M16, M16a ou M16b)

Estas setas são oblíquas em relação ao eixo da via e repetem-se, indicando a conveniência de passar para a via de tráfego por elas apontada, ou mesmo a obrigatoriedade de o fazer em consequência de outra sinalização, (Figura 24).

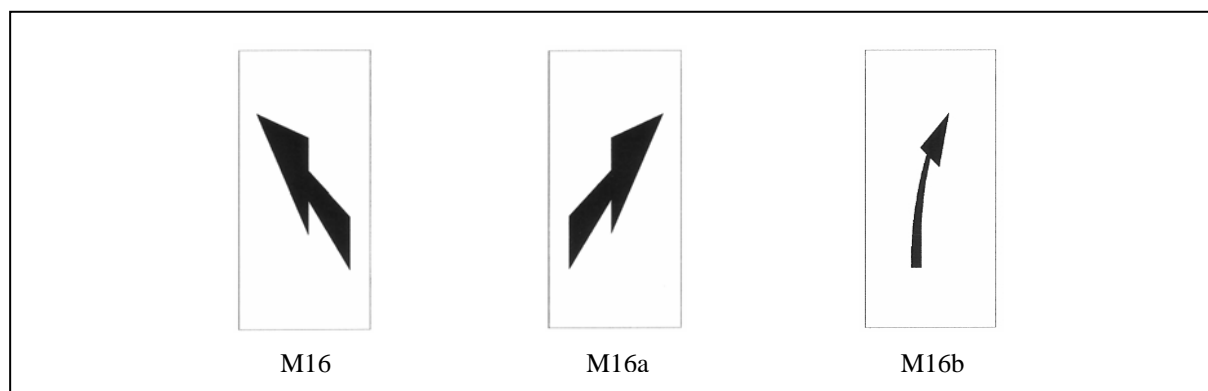


Figura 24 – Setas de desvio, marca M16, M16a ou M16b, [4]

2.3.5 Marcas Diversas e Guias

As marcas diversas e guias têm como função fornecer determinadas indicações ou repetir as já dadas por outros meios de sinalização, [3].

- Raias Oblíquas Delimitadas por Linha Contínua (Marca M17 ou M17a)

Indicam a proibição de estacionar e de entrar na área por ela abrangida, (Figura 25);

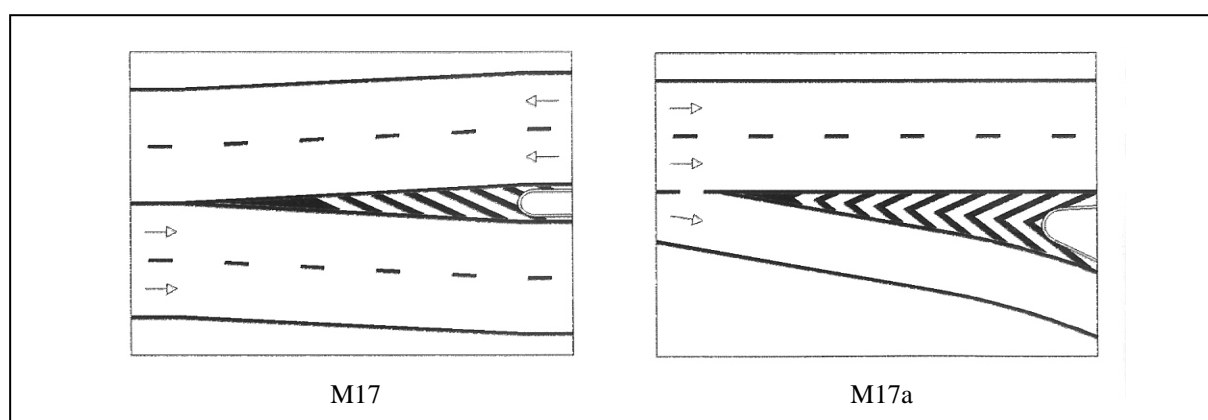


Figura 25 – Raias oblíquas delimitadas por linha contínua, marca M17 ou M17a, [4]

- Cruzamento ou Entroncamento Facilmente Congestionável (Marca M17b)

Delimita uma área constituída por linhas contínuas de cor amarela que define o local de intersecção das vias nos cruzamentos e entroncamentos. Indica a proibição de entrar na área demarcada, mesmo que o direito de prioridade ou a sinalização automática o autorize, sempre que se preveja que a intensidade do trânsito existente possa obrigar à imobilização do veículo dentro da área, (Figura 26). Tem como nomenclatura em projecto, BOX;

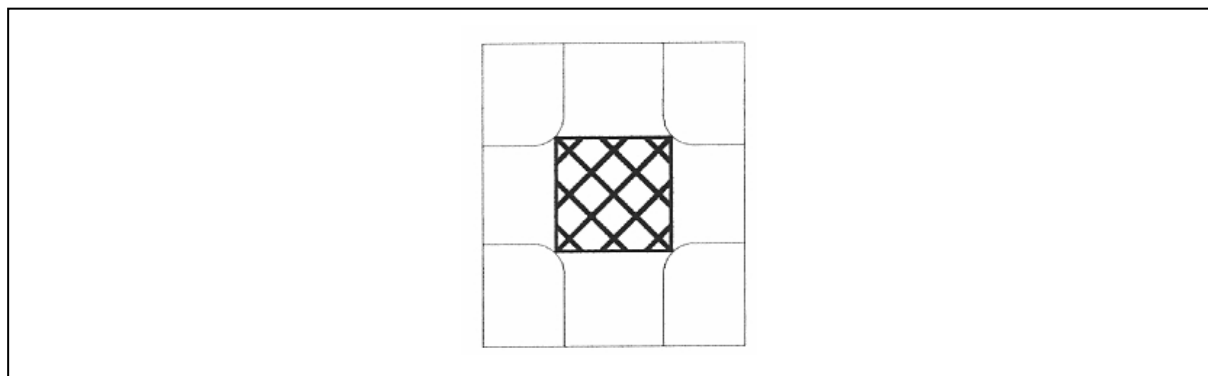


Figura 26 – Cruzamento ou entroncamento facilmente congestionável, marca M17b, [4]

- Listas Alternadas de Cor Amarela e Preta (Marca M18)

As listas alternadas de cor amarela e preta indicam a presença de obstáculos ou construções que possam constituir perigo para a circulação. São colocados em lancis ou outras superfícies que se sobrepõem da faixa de rodagem, (Figura 27);

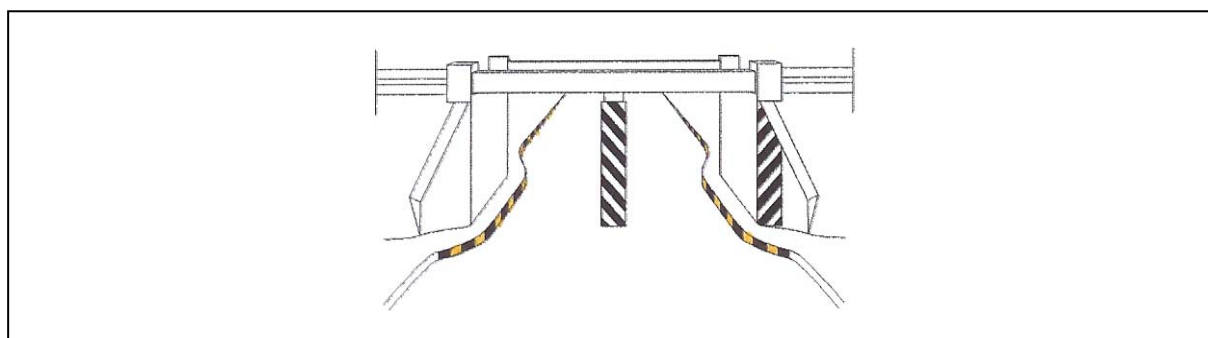


Figura 27 – Listas alternadas de cor amarela e preta, marca M18, [4]

- Guias Laterais (Marca M19)

As guias laterais têm como nomenclatura em projecto, G, e são constituídas por linhas que não são consideradas marcas longitudinais. As guias laterais situam-se junto dos bordos das faixas de rodagem e ajudam a delimitar mais visivelmente os seus limites laterais, (Figura 28);

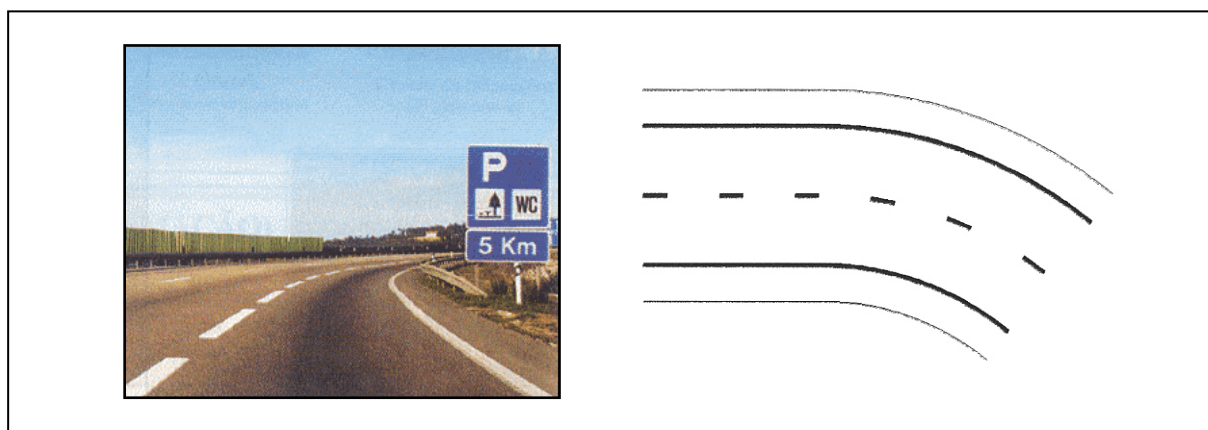


Figura 28 – Guias laterais, marca M19, [4]

- Bandas Cromáticas (Marca M20)

As bandas cromáticas alertam para a necessidade de praticar velocidades mais reduzidas em determinados locais, consistindo numa sequência de pares de linhas transversais contínuas com espaçamentos degressivos, (Figura 29);

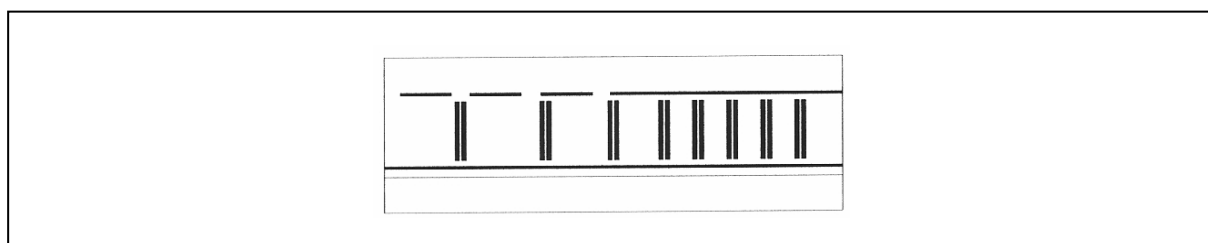


Figura 29 – Bandas cromáticas, marca M20, [4]

- Marcas de Segurança (Marca M21)

Estas marcas recomendam a distância de segurança de afastamento necessária em relação ao veículo precedente. São equidistantes, de cor amarela, com forma de V, cujo vértice aponta no sentido da marcha do veículo, (Figura 30);

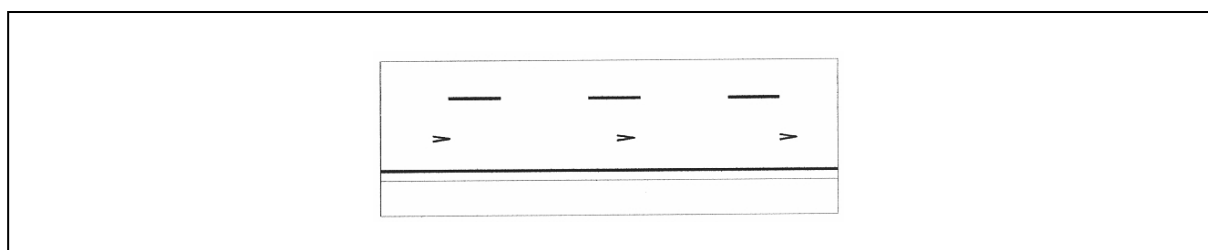


Figura 30 – Marcas de segurança, marca M21, [4]

É ainda de referir outro tipo de marcação rodoviária que não se encontra especificada em nenhum dos documentos regulamentares nacionais, nomeadamente:

- Marcas Rodoviárias com Ressaltos, também conhecidas por Guias Sonoras.

Estas marcas são constituídas por saliências de tinta que garantem duas funções distintas, alertam o condutor para o limite da via provocando ruído e vibração no veículo em circulação, bem como, em tempo de chuva, melhora a reflectorização horizontal, tornando o limite da faixa mais visível, (Figura 31).



Figura 31 – Marcas rodoviárias com ressaltos

2.4 Tipos de Marcação

As marcas rodoviárias, de acordo com a sua classe e a sua função principal a desempenhar, podem ocupar as mais variadas localizações na faixa de rodagem. Por este motivo se verifica claramente que as marcas rodoviárias podem ser desgastadas pelo tráfego de diferentes formas.

Assim sendo, é possível fazer-se a seguinte divisão:

- Marcações raramente pisadas;
- Marcações frequentemente pisadas;
- Marcações permanentemente pisadas.

As marcações raramente pisadas são constituídas pelas linhas limitadoras da faixa de rodagem e pelas linhas que fazem a demarcação de áreas de acesso proibido. Ao grupo das marcações frequentemente pisadas pertencem as linhas centrais e as linhas de aviso. Finalmente, as marcações permanentemente pisadas são materializadas pelas linhas transversais e pelas linhas de stop.

Em função desta divisão, do ponto de vista técnico, as marcações rodoviárias podem ainda ser consideradas:

- Marcações de camada fina;
- Marcações de camada espessa.

As marcações de camada fina têm uma espessura inferior a 0,4mm e destinam-se essencialmente às marcações raramente pisadas, enquanto que as marcações de camada espessa têm uma espessura que varia dos 0,4mm aos 3,0mm e são normalmente utilizadas nas marcações frequente e permanentemente pisadas.

Capítulo 3

Características das Marcas Rodoviárias

Capítulo 3

Características das Marcas Rodoviárias

3.1 Introdução

Uma das principais funções da marcação rodoviária consiste na orientação visual do condutor, permitindo assim uma maior segurança na actividade da condução. Para isso é necessário garantir que a informação gráfica transmitida pelas marcas seja visível, compreensível e credível, e simultaneamente de apreensão rápida.

Por outro lado, para garantir uma boa legibilidade e visibilidade das marcas, deverão ser adoptados os seguintes princípios genéricos, [5]:

- Conspicuidade

A marcação rodoviária deve atrair a atenção de modo a fornecer ao condutor todas as informações necessárias. Para isso, é necessário que esteja visível ao condutor em qualquer condição e localizada no seu campo de observação.

- Ênfase

A legibilidade e a visibilidade podem ser realçadas aumentando o contraste existente entre a marca rodoviária e a envolvente.

- Inteligibilidade

É necessário que a informação transmitida seja clara e de fácil compreensão, adequada à situação existente e coerente com o ambiente envolvente, de modo a minimizar o tempo de leitura e os erros.

- Manutenção

Os materiais utilizados devem ser resistentes às diversas condições atmosféricas que possam existir, nomeadamente, sol, chuva, pó, lama, etc., e substituídos sempre que necessário.

- Estandarização

As marcas utilizadas devem ser estandarizadas de modo a garantir uniformidade na sua utilização, isto é, situações idênticas devem ser sinalizadas com marcas de igual valência e dimensão e implantadas segundo as mesmas regras, garantindo assim uma fácil leitura e compreensão da sinalização existente.

A aplicação destes princípios à sinalização rodoviária em geral e especificamente às marcas rodoviárias contribui de forma decisiva para que estas cumpram as suas funções, nomeadamente de orientação do condutor, de modo a que as manobras de condução, particularmente quando realizadas em condições de visibilidade reduzida, se realizem em condições de segurança.

Neste capítulo são apresentadas as características gerais das marcas rodoviárias, com especial realce para as que estão relacionadas com a visibilidade.

3.2 Visibilidade

A luz, de acordo com a *Illuminating Engineering Society*, é o “fluxo luminoso capaz de estimular a retina e produzir uma sensação visual”, sendo o fluxo luminoso, F_L , a energia emitida de uma fonte de iluminação. Esta grandeza é expressa em lúmen, lm , e é dada pela seguinte expressão, [6]:

$$lm = cd \times sr$$

em que, sr é conhecido por esterradiano, que é o ângulo sólido que, tendo o vértice no centro de uma esfera, intercepta à superfície desta uma área igual à de um quadrado, tendo por lado o raio da esfera, e cd , é a intensidade luminosa, numa dada direcção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, mais conhecida por candela. Uma fonte de intensidade luminosa de 1 cd emite um fluxo luminoso de 12,57 lm.

A luz é transmitida de duas formas distintas:

- Por corpos incandescentes, também conhecidas por fontes quentes tal como o sol, uma vela, uma brasa, etc;
- Por corpos luminescentes, também conhecidas por fontes frias que são os objectos existentes no meio que não emitem luz própria, mas reflectem a luz que recebem.

A quantidade de fluxo luminoso emitido por uma fonte de iluminação e que atinge determinada superfície por unidade de área, ou seja, a luz incidente, é designada por iluminância e é expressa em lux, lx , que é definida pela seguinte expressão, [6]:

$$lx = \frac{lm}{m^2}$$

sendo, m , metro.

A iluminância depende apenas da distância existente entre a fonte e a superfície. Quanto mais afastadas, menor é a quantidade de fluxo luminoso que atinge uma área unitária pois a área total iluminada é maior, isto é, o fluxo luminoso é espalhado por uma área maior.

Sendo a visibilidade a circunstância de algo ser claro e manifesto ao olho humano e tendo em conta que as marcas rodoviárias se aplicam directamente sobre a superfície do pavimento, a sua visibilidade depende do contraste, que está associado ao destaque que as marcas têm em relação à sua envolvente, isto é, da diferença existente entre as propriedades reflectoras das marcas e as propriedades reflectoras da superfície do pavimento, (Figura 32), nomeadamente a diferença entre as suas luminâncias. Define-se luminância como sendo a quantidade de fluxo luminoso que é reflectido ou emitido de uma superfície numa dada direcção e é expressa em candela por metro quadrado, $[cd/m^2]$.

Esta reflexão está relacionada com o brilho visualizado, sendo o brilho a sensação percebida por um observador, vinda da superfície de um objecto, associada a uma dada luminância.



Figura 32 – Contraste entre a marca rodoviária e o pavimento

No entanto, no caso das marcas rodoviárias, o contraste, C , é habitualmente definido pela relação seguinte, que dá a proporção de luminância da marca rodoviária em relação à do pavimento, [2]:

$$C = \frac{(L_m - L_s)}{L_s}$$

em que:

L_m [cd/m²] – Valor da luminância da marca rodoviária;

L_s [cd/m²] – Valor da luminância da superfície do pavimento.

A reflexão de um corpo define-se em função da luz incidente (direcção, quantidade, composição espectral, etc.), da posição geométrica do observador e das características estruturais do corpo considerado. Assim sendo, pode-se afirmar que a evolução do citado contraste depende da iluminância, isto é, do modo como o corpo é iluminado, e do modo como a luz incidente é reflectida, ou seja, devolvida à direcção do observador.

3.2.1 Formas de Iluminação e Reflexão

Existem duas formas distintas de iluminação das marcas rodoviárias:

- Iluminação difusa, que representa a iluminação vinda da luz solar e a proporcionada pelos postes de iluminação pública;
- Iluminação proveniente dos faróis de um automóvel.

Cada uma destas formas de iluminação proporciona um modo distinto de emissão da luz incidente. A iluminação difusa oferece uma reflexão difusa enquanto que a iluminação proveniente dos faróis de um automóvel oferece uma retroreflexão.

A reflexão difusa caracteriza-se como um reenvio da luz procedente de uma determinada direcção, em direcções distintas, (Figura 33).

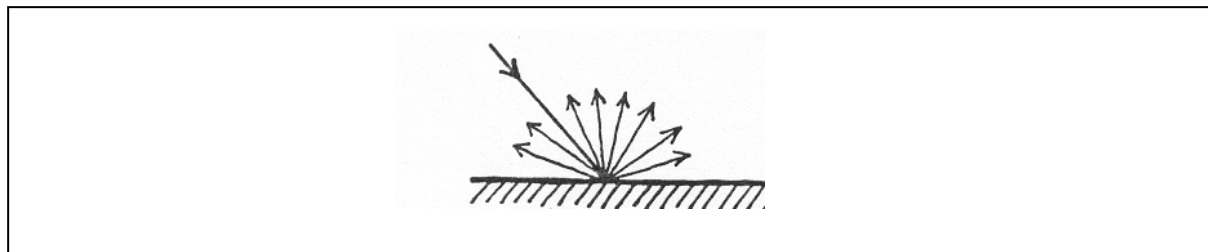


Figura 33 – Reflexão difusa

Na retroreflexão, a direcção da luz incidente e a direcção da luz observada é praticamente a mesma, (Figura 34).

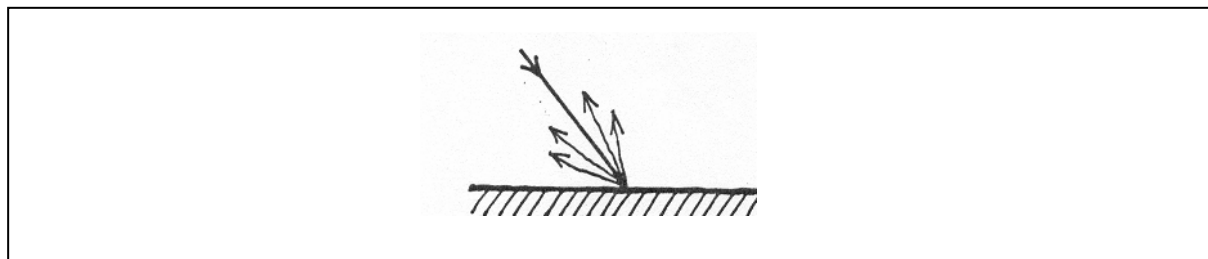


Figura 34 – Retroreflexão

Em condições de iluminação difusa, obtém-se uma boa visibilidade das marcas rodoviárias independentemente das condições atmosféricas, dado que as cores utilizadas, sendo claras, contrastam com os pavimentos envolventes.

Em situações onde a única iluminação existente é a proveniente dos faróis de um automóvel, é difícil garantir uma visibilidade adequada, especialmente se a superfície do pavimento se encontrar molhada, pois a existência de uma capa de água evita que a luz incidente penetre no pavimento, mais precisamente nas pérolas reflectoras existentes na marca, impedindo que haja uma reflexão da luz incidente na direcção do condutor, (Figura 35).

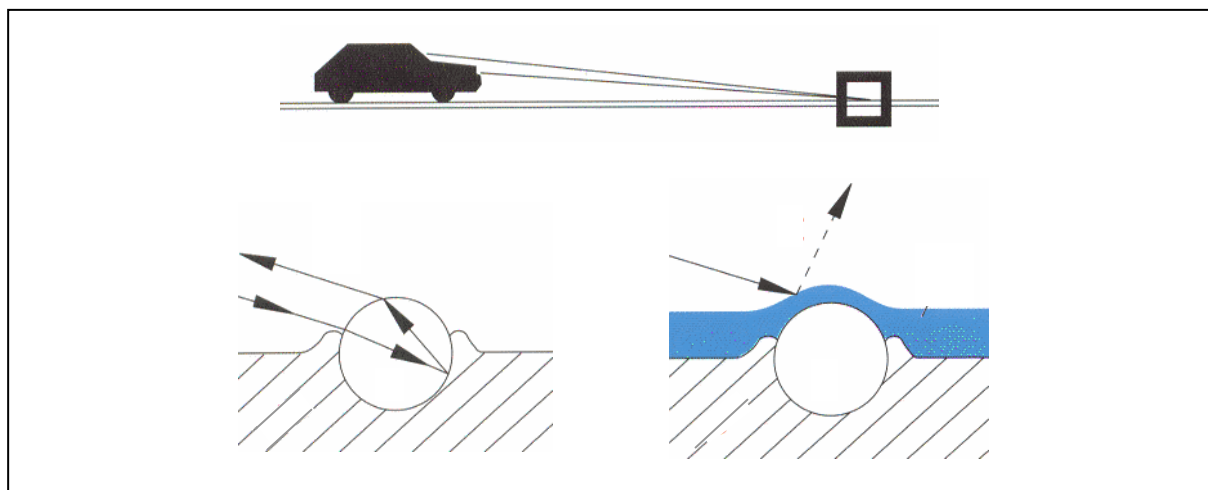


Figura 35 – Influência da presença de água no pavimento

Assim sendo, a sua capacidade retroreflectora desaparece quase por completo fazendo com que a marca seja praticamente invisível.

A fim de garantir a visibilidade das marcas rodoviárias em condições de iluminação procedente dos faróis de um automóvel e com o pavimento molhado, é necessário reajustar a distribuição dos seus elementos reflectores de tal forma que haja elevação desses elementos acima do nível da película de água existente sobre a superfície do pavimento. A elevação dos elementos reflectores é conseguida mediante o emprego das conhecidas “marcas rodoviárias com ressaltos”.

3.2.2 Influência da Idade na Visibilidade

Não é surpresa para ninguém que acima da faixa etária dos quarenta, as faculdades visuais começam a declinar com a idade. A tendência é para ficar com a visão ao perto enfraquecida, sendo necessário mais luz para ver. São necessários também maiores contrastes de forma a maximizar o comportamento visual.

Resultados de diversas fontes, incluindo *Bennett, Chitlangia e Pangrekar (1977)*, *Hughes e McNelis (1978)*, indicam que a idade do observador tem grande impacto na determinação da quantidade de iluminação necessária para que determinado alvo seja visível.

Com o avanço da idade, a iluminação é cada vez mais importante, mas é necessário algum cuidado pois níveis muito elevados nem sempre são convenientes. Para além da energia desperdiçada, a iluminação exagerada poderá criar efeitos indesejáveis, nomeadamente ofuscar devido ao intenso brilho provocado.

A figura seguinte, (Figura 36), revela o incremento dramático do contraste relativo necessário de modo a garantir que os indivíduos situados na faixa etária acima dos cinquenta tenham um comportamento visual idêntico aos que se situam na faixa etária entre os vinte e os trinta anos, considerada como padrão.

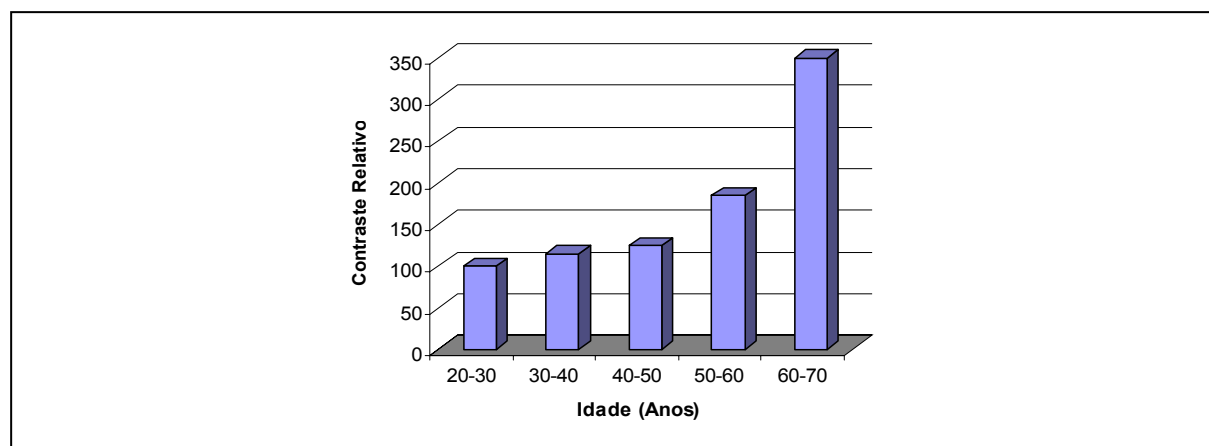


Figura 36 – Contraste relativo necessário para manter um bom comportamento visual, [7]

Pela figura, verifica-se que os indivíduos cujas idades estão compreendidas entre os cinquenta e os sessenta anos necessitam de aproximadamente o dobro do contraste que os indivíduos dos vinte aos trinta anos de idade de modo a garantir um bom comportamento visual, enquanto que as pessoas entre os sessenta e setenta anos de idade necessitam de cerca três vezes e meia o contraste necessário para a faixa etária considerada como padrão.

3.3 Requisitos Exigidos aos Materiais Utilizados em Marcação Rodoviária

As qualidades requeridas às marcas rodoviárias dependem do comportamento exigido durante a sua vida útil, sendo esta o período durante o qual uma marca rodoviária preenche todos os requerimentos especificados pelas autoridades e dependem de vários parâmetros, sobretudo, do pavimento sobre o qual é aplicada, da própria localização da marca sobre o pavimento e dos materiais utilizados, nomeadamente, produtos que se encontram no estado líquido no momento da aplicação, mais conhecidas por tintas, ou materiais pré-fabricados, conhecidos por telas, que aderem à superfície.

Para garantir um bom comportamento das marcas rodoviárias, é necessário que estas obedeçam a características gerais. Só assim se consegue a transmissão de determinadas prescrições que ajudam na orientação dos condutores.

3.3.1 Características de Visibilidade

As características ópticas das marcas devem ser tais que garantam a sua visibilidade a uma distância suficiente. À medida que aumentam as propriedades reflectoras das marcas rodoviárias, maior é o seu contraste com a superfície do pavimento, contribuindo para o incremento da distância de visibilidade das mesmas por parte do condutor.

As características de visibilidade essenciais para qualquer marca rodoviária de modo a garantir um bom comportamento durante a sua vida útil são, [8], a cor, quantificada através das coordenadas cromáticas, e a reflexão, que para condições de iluminação difusa é quantificada através da luminância, e para condições de iluminação proveniente dos faróis é quantificada pela retroreflexão.

As marcas rodoviárias devem ainda apresentar características de desgaste e durabilidade adequadas. Por outro lado, deverão estar asseguradas condições de aderência que permitam realizar as manobras de condução em segurança.

Todas as características de visibilidade referidas podem ser encontradas nos materiais pré-fabricados. Produtos em estado líquido apenas podem oferecer intrinsecamente duas das características mencionadas acima, a cor e a reflexão em condições de iluminação difusa. Somente com a adição “in-situ” de esferas de vidro ao material ainda em estado líquido com a viscosidade adequada, é que se consegue obter retroreflectividade, ou seja, reflexão para as condições de iluminação proveniente dos faróis.

Passa-se, em seguida, à análise das características de visibilidade exigidas aos materiais utilizados na materialização da marcação rodoviária.

3.3.1.1 Cor

A cor aplicada depende da função da marca rodoviária. Em situações normais, isto é, numa via sem constrangimentos especiais e com o único objectivo de regular o trânsito e advertir e orientar o condutor, sendo um equipamento de sinalização de carácter permanente, utiliza-se a cor branca e a cor amarela, sendo a cor amarela aplicada em situações descritas no capítulo anterior, nomeadamente em locais onde se pretende restringir o estacionamento e a paragem de automóveis.

Quando se trata de sinalização temporária, ligada a determinados constrangimentos ou anomalias existentes na faixa de rodagem, nomeadamente trabalhos, desvios ou acidentes, deverá aplicar-se a cor amarela.

O sistema mais utilizado para descrever cor, é o sistema colorimétrico, “Commission Internationale de l’Eclairage”, mais conhecido por Sistema CIE. Este sistema baseia-se no fundamento de que qualquer cor pode ser definida através da combinação de três comprimentos de onda de luz distintas, que correspondem no espectro às cores vermelho, verde e azul.

Antes de prosseguir com a descrição do Sistema CIE, passa-se a explicar o conceito de ondas luminosas e comprimento de onda.

As ondas luminosas são geradas pelo movimento de partículas dotadas de carga eléctrica, em que cada partícula gera à sua volta um campo eléctrico, que quando perturbado, propaga uma onda. Cada onda tem uma cor diferente em função do seu comprimento, λ , sendo o comprimento de onda a distância entre duas cristas sucessivas, (Figura 37).

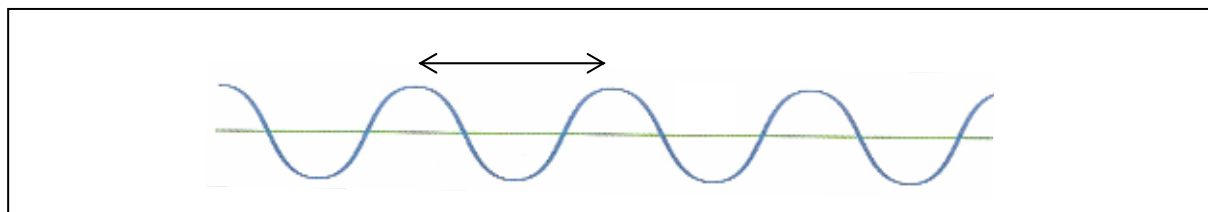


Figura 37 – Comprimento de onda, λ

À medida que o comprimento de onda diminui, passa-se do vermelho para o laranja, depois, ao amarelo, ao verde e ao azul até chegar ao lilás, (Figura 38). O comprimento de onda é expresso em nanómetros, nm, em que um nanómetro equivale a 10^{-9} metros.

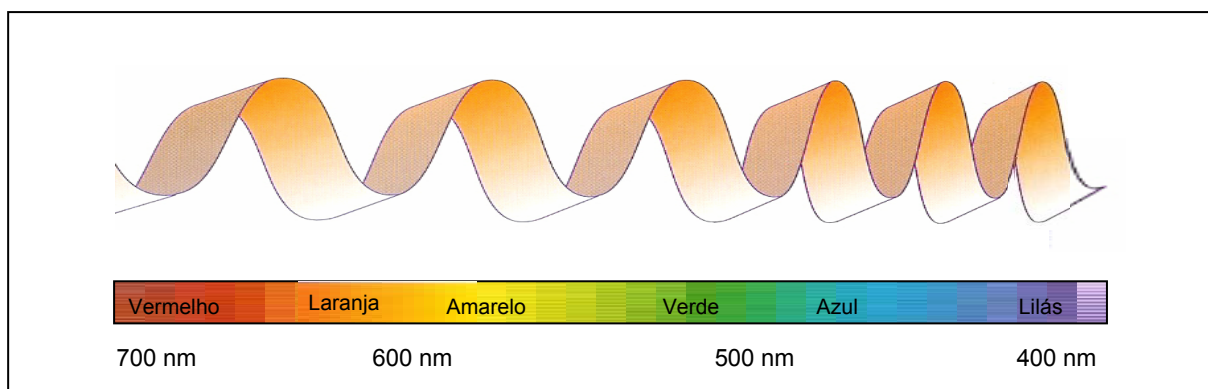


Figura 38 – Espectro de cores em função do comprimento de onda

O Sistema CIE determina as proporções relativas necessárias, dos três recursos luminosos, para produzir uma cor em particular. Esses recursos luminosos são designados de X, Y e Z, correspondendo cada um à cor vermelha, verde e azul, respectivamente.

As proporções relativas, designadas por x, y e z, são conhecidas por coordenadas cromáticas. Para a definição de uma cor, é suficiente a determinação de apenas duas das proporções relativas, pois a soma das três terá de ser igual a um. As coordenadas cromáticas usualmente utilizadas para a especificação da cor são x e y, sendo z resultante da diferença entre estas duas, e são dadas pelas seguintes expressões:

$$x = \frac{X}{(X + Y + Z)} \quad ; \quad y = \frac{Y}{(X + Y + Z)}$$

A figura 39 representa o diagrama cromático CIE 1931, produzido por combinação linear das coordenadas cromáticas, x e y, que descreve as regiões cromáticas existentes.

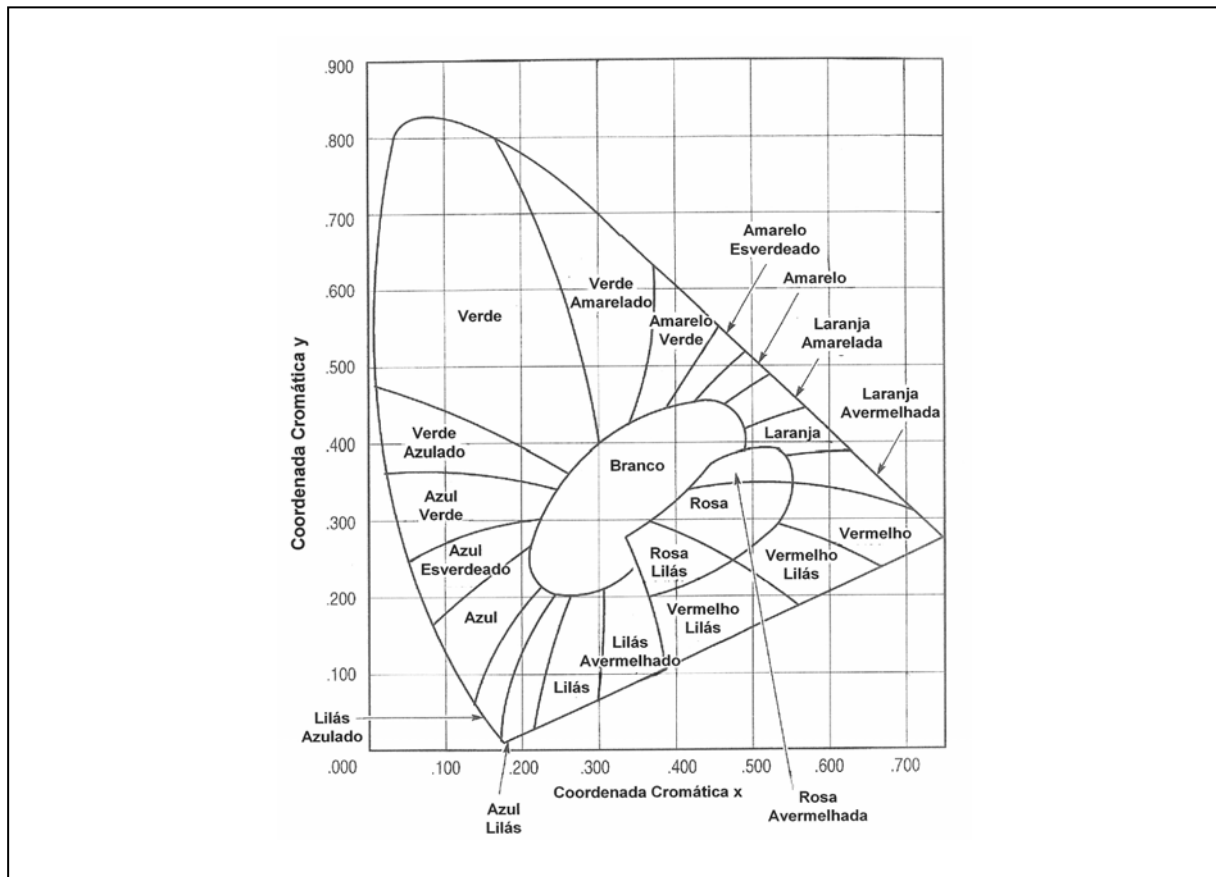


Figura 39 – Diagrama cromático CIE 1931, [7]

Neste diagrama é possível verificar-se que existe uma sequência de cor, isto é, as cores fundem-se de uma para a outra.

As coordenadas cromáticas x e y das marcas rodoviárias, devem pertencer às regiões definidas pelos pontos dados no quadro 1 e ilustradas nas figuras 40a, 40b e 40c, respeitantes, respectivamente, às marcas de cor branca, de cor amarela em utilização permanente e de cor amarela em utilização temporária.

Pontos		1	2	3	4
Marca Rodoviária Branca	x	0,355	0,305	0,285	0,335
	y	0,355	0,305	0,325	0,375
Marca Rodoviária Amarela Permanente	x	0,443	0,545	0,465	0,389
	y	0,399	0,455	0,535	0,431
Marca Rodoviária Amarela Temporária	x	0,494	0,545	0,465	0,427
	y	0,427	0,455	0,535	0,483

Quadro 1 – Pontos que definem as regiões cromáticas para marca rodoviária branca e amarela, [9 adoptado]

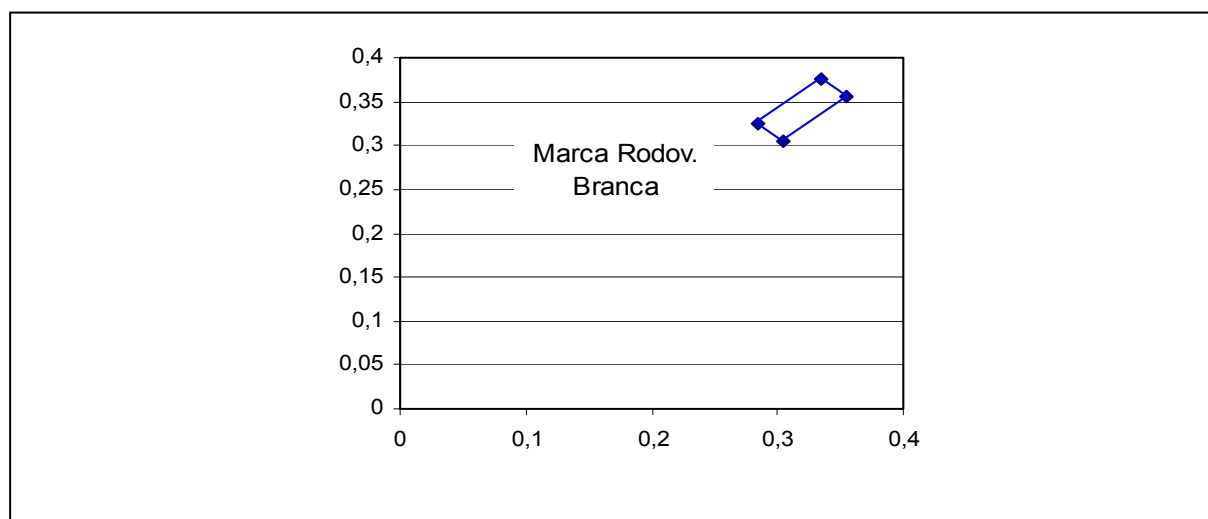


Figura 40a – Região cromática para marcas rodoviárias brancas, [9]

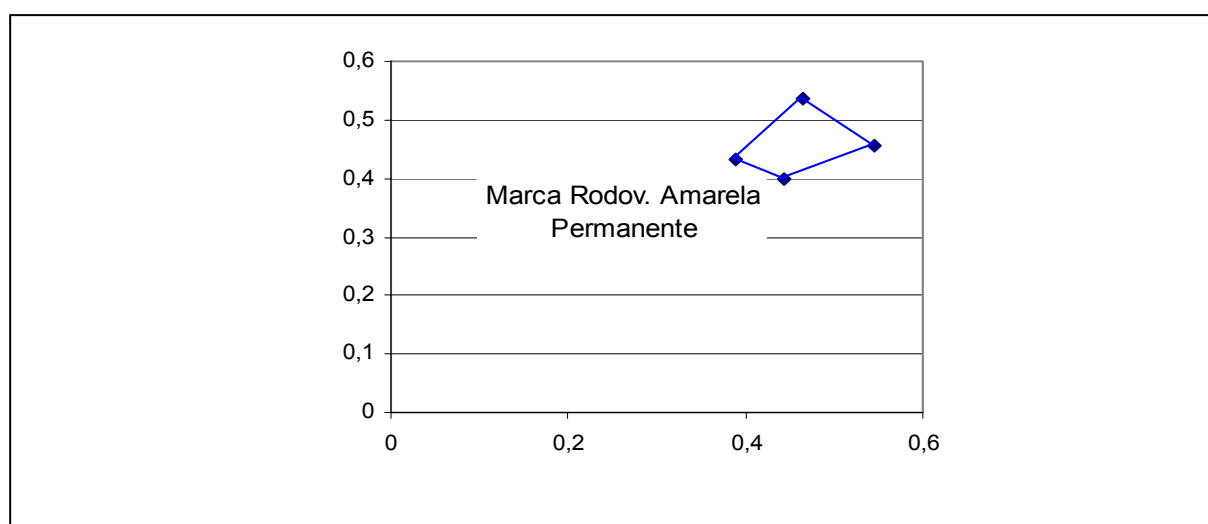


Figura 40b – Região cromática para marcas rodoviárias amarelas de utilização permanente, [9]

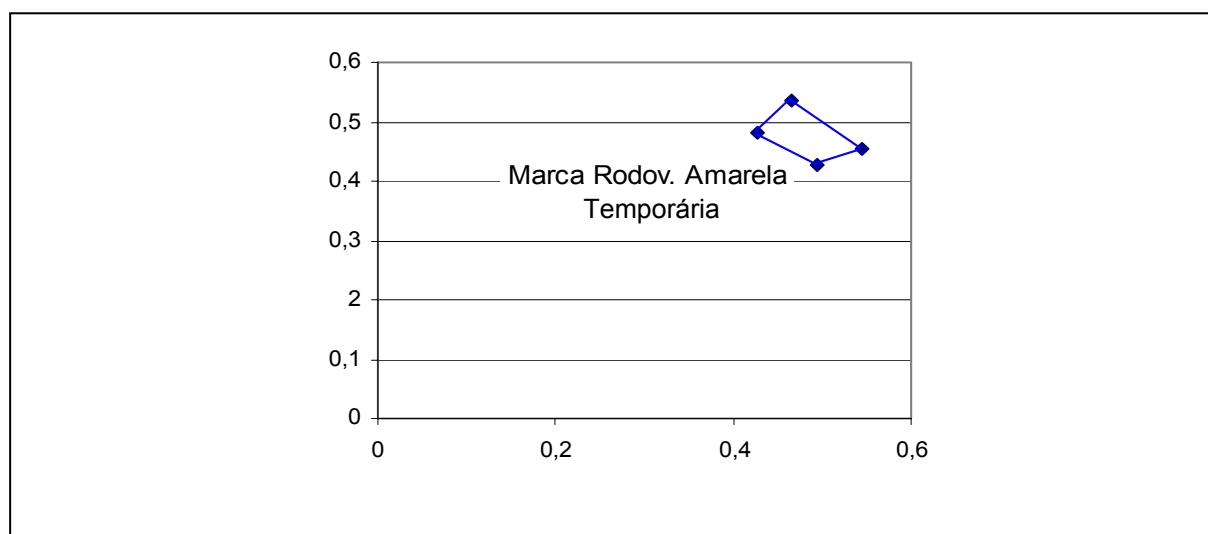


Figura 40c – Região cromática para marcas rodoviárias amarelas de utilização temporária, [9]

As coordenadas cromáticas x e y , para marcas rodoviárias em piso seco, podem ser medidas nas mesmas condições em que se mede o factor de luminância, condições estas referidas na secção 3.4.1, ou podem ser medidas nas mesmas condições em que se mede o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa. Em qualquer um dos casos, as coordenadas cromáticas x e y devem sempre pertencer às regiões definidas pelos pontos apresentados acima.

As condições de medição do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa providenciam uma imagem mais realista das cores das marcas rodoviárias, tal como são vistas pelos condutores em condições diurnas ou de iluminação pública.

Ainda como outra alternativa para a medição das coordenadas cromáticas das marcas rodoviárias em piso seco, pode-se utilizar as mesmas condições em que se mede o coeficiente de luminância retroreflectida, que reflectem de forma fiel as cores vistas pelos condutores em condições de iluminação proveniente dos faróis do automóvel.

3.3.1.2 Reflexão em Condições de Iluminação Difusa

Como se referiu anteriormente, as condições de iluminação difusa correspondem quer à iluminação proveniente da luz solar, quer à proporcionada pelos postes de iluminação pública. Neste tipo de condições a reflexão pode ser avaliada pelo coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , ou pelo factor de luminância, β .

O coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , é o quociente entre a luminância da marca rodoviária na direcção de observação, L_m , e a iluminância desta no seu plano, E_L . É expresso em $\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, sendo mcd, milicandelas e é definido pela seguinte expressão:

$$Q_d = \frac{L_m}{E_L} \times 1000$$

em que:

L_m [cd/m^2] – Valor da luminância da marca rodoviária na direcção de observação;

E_L [lx] – Valor da iluminância da marca rodoviária no seu plano.

O factor de luminância, β , estabelece a relação entre a luminância de uma superfície e a de um difusor perfeito, que é um aparelho que capta e propaga ondas luminosas, quando ambos se iluminam e são observados nas mesmas condições geométricas. O seu valor pode variar entre 0 e 1, sendo 1 quando a luminância da superfície for igual à do difusor.

Ambos os parâmetros, Q_d e β , medem a sensação visual do brilho da marca rodoviária visualizado em condições de iluminação diurna ou pública. A principal diferença reside na distância de visibilidade utilizada nas suas medições, que para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , corresponde a uma distância de grande extensão e para o factor de luminância, β , corresponde a uma distância curta.

Apresentam-se de seguida dois quadros, (Quadro 2 e Quadro 3), representativos das várias classes do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e do factor de luminância, β , para marcas rodoviárias em piso seco, em função da cor e do tipo de superfície do pavimento existente.

Marca Rodoviária (Cor)	Superfície do Pavimento (Tipo)	Classe	Coeficiente de Luminância Mínimo em condições de Iluminação Difusa Q_d [$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$]
Branca	Betuminoso	$Q_0^{(*)}$	-
		Q_2	$Q_d \geq 100$
		Q_3	$Q_d \geq 130$
		Q_4	$Q_d \geq 160$
	Betão de Cimento	$Q_0^{(*)}$	-
		Q_3	$Q_d \geq 130$
		Q_4	$Q_d \geq 160$
		Q_5	$Q_d \geq 200$
Amarela		$Q_0^{(*)}$	-
		Q_1	$Q_d \geq 80$
		Q_2	$Q_d \geq 100$
		Q_3	$Q_d \geq 130$

Quadro 2 – Classes do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , para marcas rodoviárias em piso seco, [9]

(*) A classe Q_0 é atribuída quando a visibilidade em iluminação diurna é medida através do valor do factor de luminância, β .

Marca Rodoviária (Cor)	Superfície do Pavimento (Tipo)	Classe	Factor de Luminância Mínimo β
Branca	Betuminoso	B ₀ ^(*)	-
		B ₂ ^(**)	$\beta \geq 0,30$
		B ₃ ^(**)	$\beta \geq 0,40$
		B ₄ ^(**)	$\beta \geq 0,50$
		B ₅ ^(**)	$\beta \geq 0,60$
	Betão de Cimento	B ₀ ^(*)	-
		B ₃ ^(**)	$\beta \geq 0,40$
		B ₄ ^(**)	$\beta \geq 0,50$
		B ₅ ^(**)	$\beta \geq 0,60$
Amarela		B ₀ ^(*)	-
		B ₁ ^(**)	$\beta \geq 0,20$
		B ₂ ^(**)	$\beta \geq 0,30$
		B ₃ ^(**)	$\beta \geq 0,40$

Quadro 3 – Classes do factor de luminância, β , para marcas rodoviárias em piso seco, [9]

(*) A classe B₀ é atribuída quando a visibilidade em iluminação diurna é medida através do valor do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Qd.

(**) Em alguns países, estas classes não se conseguem garantir durante um período limitado do ano pois a probabilidade de um comportamento inferior é elevada devida à presença de águas, pó, lamas etc.

A selecção das classes de comportamento necessárias para uma determinada marca rodoviária é função da vida útil que esta deve garantir, isto é, da durabilidade pretendida, que depende da densidade e tipo de tráfego existente, da frequência com que a marca é pisada e da rugosidade da superfície da estrada. A selecção implica ainda um compromisso entre as necessidades dos condutores, dependendo da tipologia da estrada e da importância da marca, e o custo financeiro em fornecer as condições favoráveis para garantia de determinado comportamento. Assim, é fácil concluir que quanto maior for a importância da estrada, maior deverá ser a classe de comportamento a exigir à marca rodoviária.

Devido ao facto de as marcas dependerem de tantas particularidades em conjunto, a escolha das classes de comportamento mais adequadas devem estar definidas em especificações nacionais, após uma correcta consideração de todos os aspectos importantes a ter em conta.

Nos quadros 2 e 3, verifica-se que o valor mínimo exigido para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa e para o factor de luminância, para uma marca rodoviária de cor branca aplicada sobre betuminoso e em piso seco, é de $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ e de 0,30, respectivamente. Se a marca for aplicada sobre betão de cimento, o valor mínimo exigido passa a ser de $130 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa e 0,40 para o factor de luminância.

Esta diferença reside no facto do betuminoso ser mais escuro que o betão de cimento, implicando assim, que uma marca branca aplicada sobre betão de cimento tenha que possuir propriedades de reflexão em condições de iluminação difusa maiores de modo que esta se destaque do betão de cimento de forma semelhante ao destaque que possuiria se fosse aplicada sobre um pavimento de betuminoso.

No caso de uma marca rodoviária de cor amarela, independentemente do tipo de pavimento existente, o valor mínimo para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, é de $80 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ e para o factor de luminância, é de 0,20. Verifica-se assim que a reflexão em condições de iluminação difusa para marcas rodoviárias de cor amarela é menos exigente, em relação às classes mínimas exigidas, que para marcas rodoviárias de cor branca. Esta situação deve-se ao facto das marcas rodoviárias de cor amarela, em geral, terem uma utilização permanente para regular o estacionamento e a paragem dos veículos. No caso de marcas rodoviárias temporárias (amarelas), que habitualmente possuem funções mais importantes como a regulação da circulação do tráfego, indubitavelmente terão que ter classes de comportamento mais exigentes.

3.3.1.3 Retroreflexão em Condições de Iluminação Proveniente dos Faróis

Em condução nocturna, a visibilidade é garantida pela iluminação proveniente dos faróis do automóvel. Nestas condições, dever-se-á quantificar não a reflexão, mas antes a retroreflexão utilizando-se o coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , que é o quociente entre a luminância da superfície da marca na direcção de observação, L_m , e a sua iluminância medida sobre a superfície de um plano perpendicular à direcção da luz incidente, E_L^\perp . É expresso em $\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e é dado pela seguinte expressão:

$$R_L = \frac{L_m}{E_L^\perp} \times 1000$$

em que:

L_m [cd/m²] – Valor da luminância da superfície da marca na direcção de observação;

E_L^\perp [lx] – Valor da iluminância da marca rodoviária num plano perpendicular à direcção de luz incidente.

Este parâmetro representa o brilho da marca rodoviária visualizada pelo condutor de um veículo devido à iluminação proporcionada pelos faróis do automóvel.

Nos quadros seguintes, encontram-se representadas as diferentes classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias para as situações de piso seco, (Quadro 4), piso molhado, (Quadro 5), e chuva, (Quadro 6), de acordo com o tipo e a cor da marca em causa.

Marca Rodoviária (Tipo)	Marca Rodoviária (Cor)	Classe	Coeficiente de Luminância Retroreflectida Mínima R_L [mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]
Permanente	Branca	$R_0^{(*)}$	-
		$R_2^{(**)}$	$R_L \geq 100$
		$R_3^{(**)}$	$R_L \geq 150$
		$R_4^{(**)}$	$R_L \geq 200$
		$R_5^{(**)}$	$R_L \geq 300$
	Amarela	$R_0^{(*)}$	-
		$R_1^{(**)}$	$R_L \geq 80$
		$R_3^{(**)}$	$R_L \geq 150$
		$R_4^{(**)}$	$R_L \geq 200$
Temporária		$R_0^{(*)}$	-
		$R_3^{(**)}$	$R_L \geq 150$
		$R_5^{(**)}$	$R_L \geq 300$

Quadro 4 – Classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias em piso seco, [9]

(*) A classe R_0 é atribuída quando a visibilidade da marca rodoviária é conseguida sem retroreflexão devido à iluminação proveniente dos faróis de um veículo automóvel, isto é, em condições de iluminação difusa.

(**) Em alguns países, estas classes não se conseguem garantir durante um período limitado do ano pois a probabilidade de um comportamento inferior é elevada devida à presença de águas, pó, lamas etc.

De acordo com o quadro 4, para que se possa garantir um bom comportamento de uma marca rodoviária permanente, de cor branca, em situação de piso seco e em condições de iluminação proveniente dos faróis de um automóvel, é necessário que o coeficiente de luminância retroreflectida tenha um valor mínimo de 100 mcd*m⁻²*lx⁻¹. Se a marca for de cor amarela, então terá que ter um valor mínimo de 80 mcd*m⁻²*lx⁻¹.

No caso de uma marca temporária, o valor mínimo exigido ao coeficiente de luminância retroreflectida é de $150 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$, valor este superior ao mínimo exigido quer para uma marca rodoviária de cor branca, quer para uma marca permanente de cor amarela. Esta exigência deve-se ao facto de as marcas temporárias serem utilizadas em situações em que existe uma mudança, não prevista por parte do condutor, no trajecto de circulação devido habitualmente a trabalhos de conservação e manutenção na via. Logo, estas devem estar bem visíveis de forma a provocar o maior impacto possível aos utentes, minimizando os efeitos da anomalia temporária, salvaguardando assim a sua segurança em situações irregulares na estrada.

Condições de Piso molhado	Classe	Coeficiente de Luminância Retroreflectida Mínima R_L [$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$]
Inundação da superfície do pavimento durante 1min	$RW_0^{(***)}$	-
	RW_1	$R_L \geq 25$
	RW_2	$R_L \geq 35$
	RW_3	$R_L \geq 50$
	RW_4	$R_L \geq 75$

Quadro 5 – Classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias em piso molhado, [9]

(***) A classe RW_0 é atribuída em casos onde este tipo de retroreflexão não é requerido por razões económicas ou tecnológicas.

Situação de Chuva	Classe	Coeficiente de Luminância Retroreflectida Mínima R_L [$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$]
Obtida após uma chuvada uniforme de 2mm/h sobre a superfície do pavimento, durante pelo menos 5min.	$RR_0^{(*)}$	-
	RR_1	$R_L \geq 25$
	RR_2	$R_L \geq 35$
	RR_3	$R_L \geq 50$
	RR_4	$R_L \geq 75$

Quadro 6 – Classes do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , das marcas rodoviárias em situação de chuva, [9]

Pelos quadros 5 e 6, verifica-se que os valores do coeficiente de luminância retroreflectida para cada classe, em condições de piso molhado e em situação de chuva, são os mesmos, sendo o valor mínimo exigido de modo a assegurar uma boa orientação visual em condições

de iluminação dos faróis de um automóvel, de $25 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, valor este, menos exigente que o prescrito em condição de piso seco.

Isto verifica-se porque, dependendo das condições em que o piso se encontra, o condutor tende a adaptar a sua velocidade de condução às características superficiais da faixa de rodagem existentes. Sendo assim, quanto mais desfavoráveis as condições do piso, menor é a velocidade adoptada, garantindo a segurança e a leitura e compreensão atempada da informação transmitida pela marcação rodoviária, podendo ser adoptados valores de coeficiente de luminância retroreflectida mais baixos.

3.3.2 Outras Características

3.3.2.1 Resistência ao Deslizamento

Um aspecto que não se pode menosprezar relativamente à aplicação das marcas rodoviárias é o efeito que estas podem ter no que respeita ao coeficiente de atrito da superfície, de forma a garantir a aderência necessária para assegurar distâncias de travagem adequadas.

A resistência ao deslizamento é uma propriedade da superfície da marca rodoviária que garante a aderência do veículo à estrada, ou seja, que limita o movimento relativo no contacto entre o pneu do veículo e a superfície da marca. Esta característica é medida de acordo com a pré-norma europeia, *prEN 13036-4*, através do teste do pêndulo, *PTV* (Pendulum Test Value), (Figura 41), que é um ensaio que consiste em medir a perda de energia quando um elemento de borracha standardizado (pêndulo) desliza sobre a superfície da marca rodoviária a testar.



Figura 41 – Equipamento para medição da resistência ao deslizamento

A adesão do pneu do veículo à marca rodoviária pode ser aumentada através da adição de agregados anti-deslizamento, de onde resulta um efeito substancialmente negativo nas propriedades de retroreflexão, pois não é possível obter classes elevadas de bom comportamento de retroreflexão e de resistência ao deslizamento em simultâneo, porque uma marca rodoviária pode ter, ou pérolas reflectoras ou agregados anti-deslizamento, obtendo assim classes elevadas de retroreflexão ou de resistência ao deslizamento, respectivamente.

Existem, de acordo com a função que estas devem desempenhar, marcas rodoviárias em que a resistência ao deslizamento tem maior importância em relação à retroreflexão. Estas marcas são as que ocupam uma grande percentagem de área da faixa de rodagem, nomeadamente, setas de selecção, marcas rodoviárias transversais, símbolos e passadeiras, ou seja, as marcas rodoviárias consideradas como frequente e permanentemente pisadas.

No quadro que se segue, (Quadro 7), encontram-se representadas as diferentes classes atribuídas à resistência ao deslizamento de acordo com o teste do pêndulo.

Classe	Valor Mínimo de <i>PTV</i>
$S_0^{(*)}$	-
S_1	$PTV \geq 45$
S_2	$PTV \geq 50$
S_3	$PTV \geq 55$
S_4	$PTV \geq 60$
S_5	$PTV \geq 65$

Quadro 7 – Classes de acordo com o teste do pêndulo, *PTV*, [9]

(*) A classe S_0 é atribuída em situações em que o valor de *PTV* não é medível.

De acordo com o quadro 7, a classe mínima exigida à resistência ao deslizamento, em função do teste do pêndulo, é a classe S_1 , cujo valor de *PTV* deve ser maior ou igual a 45.

O teste do pêndulo é inadequado para algumas marcas rodoviárias, nomeadamente marcas em que a superfície não é suficientemente plana e a área pintada não possui dimensões suficientes, (largura mínima de $76,2 \pm 0,5$ mm e comprimento mínimo de 126 ± 1 mm). Nestes casos, existem outras formas de medir a resistência ao deslizamento, de onde normalmente resultam valores satisfatórios desde que haja uma repetição aceitável de medições.

O “*International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements*”, PIARC-01.04T-1995, fornece informação sobre os diferentes testes e equipamentos existentes para medição da resistência ao deslizamento, tal como a repetição necessária e a correlação para obter o valor correspondente ao teste pendular.

Existem vários factores que influenciam a resistência ao deslizamento, nomeadamente, [9]:

- Pressão nos pneus, área de contacto;
- Alinhamento dos pneus;
- Composição da borracha dos pneus (material);
- Micro e macrotextura da superfície do pavimento da estrada em relação à espessura da marca rodoviária (é o factor principal a contribuir quando a espessura é inferior a 0,6mm);
- Características de fricção da superfície da marca rodoviária;
- Velocidade do veículo;
- Condições atmosféricas.

Estudos efectuados, [3], levam a concluir que a influência da marca no coeficiente de atrito aumenta quanto menos rugosa for a superfície do pavimento e quanto mais espessa for a marcação. Se a marca for muito espessa a rugosidade do pavimento é “tapada” pelo material utilizado na concretização da marca rodoviária, passando esta a constituir a superfície que se encontra em contacto com o pneu, sendo do seu encargo garantir a aderência entre eles.

Verifica-se assim que a resistência ao deslizamento não é uma constante, mas varia com o tipo de pavimento existente, o tipo de material utilizado na marcação rodoviária, as condições atmosféricas, o tipo e quantidade de tráfego existente e o efeito destes últimos três nas características da superfície da marca rodoviária. Consequentemente, a sua avaliação incorpora um elevado grau de incerteza, mas é facilmente conclusivo que o coeficiente de atrito melhora à medida que o desgaste da marca aumenta.

3.3.2.2 Durabilidade e Desgaste

O desgaste das marcas rodoviárias é uma das principais causas da sua degradação e desaparecimento. Assim sendo, é fácil perceber que a durabilidade de uma marca depende da frequência com que a marca é pisada pelo tráfego, estando este aspecto intimamente ligado à própria localização da marca no pavimento, da densidade de tráfego existente e da sua composição, isto é, se os veículos são maioritariamente ligeiros ou pesados.

Existem ainda outros factores que contribuem significativamente para a durabilidade, causando desgaste das marcas, como a presença de areias ou materiais soltos na faixa de rodagem e questões relativas com as condições locais em alguns países, como por exemplo, o uso de correntes nos pneus.

Como é evidente, o pavimento onde a marca se encontra aplicada é também determinante em relação ao seu estado de conservação, pois poderá ocorrer descolagem caso o pavimento seja de betão ou de calçada. Em pavimentos betuminosos a adesividade é facilitada por fenómenos químicos, em que os solventes utilizados na pintura atacam ligeiramente o revestimento do pavimento, incrustando-se nele.

3.4 Métodos de Medição

3.4.1 Factor de Luminância, β

O factor de luminância, β , é medido segundo a norma *ISO/CIE 10526*, [9], a $45^\circ/0^\circ$, o que significa que a iluminação é feita a $(45\pm5)^\circ$ e a medição a $(0\pm10)^\circ$, em que os ângulos são medidos relativamente à normal com a superfície da marca rodoviária.

Existem aparelhos comerciais que medem pequenas áreas ($\leq 1\text{cm}^2$), em que se deve efectuar tantas leituras quantas as necessárias, de forma a obter uma medição representativa da superfície da marca rodoviária. São suficientes três leituras se a superfície for de pequena textura, mas se esta for uma superfície rugosa, serão necessárias mais leituras.

3.4.2 Coeficiente de Luminância em Condições de Iluminação Difusa, Q_d , e Coeficiente de Luminância Retroreflectida, R_L

3.4.2.1 Medição em Campo

O equipamento para medição do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , de uma marca rodoviária, inclui um sistema de iluminação e um aparelho fotométrico. É necessário também a definição de um plano horizontal de referência com um centro de referência, onde serão feitas as medições, [9].

As condições standardizadas de medição para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , simulam uma distância de visibilidade de 30m para um condutor de um veículo ligeiro com os olhos a uma altura de 1,2m acima do nível da estrada.

Para o coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , além das condições standard de medição referidas para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , existe outra que consiste no facto dos faróis do automóvel se situarem a uma altura de 0,65m acima do nível da estrada.

Existem duas formas distintas de organizar o “campo de medição” e a iluminação, através de dois métodos diferentes, A e B. O Método A é um processo em que a área iluminada contém a área do campo a medir e no Método B, a área a medir contém a área do campo que se encontra iluminada. Neste último método, é exigido que a área a medir tenha no mínimo 50cm².

- Coeficiente de Luminância em Condições de Iluminação Difusa, Q_d

Para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , o método A é baseado na definição:

$$Q_d = \frac{L_m}{E_L}$$

em que:

L_m [cd/m²] – Luminância do campo medido de uma marca rodoviária;

E_L [lx] – Iluminância no plano do campo medido.

O método B é baseado numa modificação da definição de Q_d :

$$Q_d = \frac{(G * I)}{\Phi}$$

em que:

G – Factor geométrico;

I – Intensidade de luz reflectida de um campo iluminado da marca rodoviária;

Φ – Fluxo luminoso transmitido ao campo.

O factor geométrico G , é dado por:

$$G = \frac{1}{\sin \alpha}$$

sendo α , o ângulo de observação.

O ângulo de observação, α , é o ângulo entre a direcção de observação e o plano de referência, (Figura 42), sendo a direcção de observação a direcção central de todos os raios desde o aparelho fotométrico até ao campo medido.

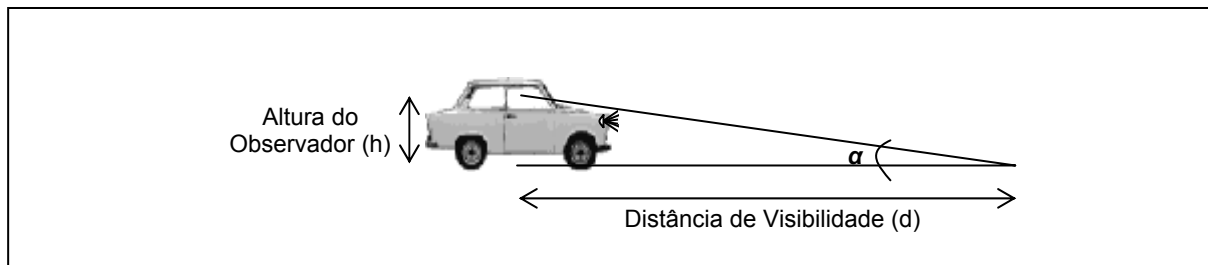


Figura 42 – Ângulo de observação

Para condições standard de medição,

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h}{d}\right) = \arctg\left(\frac{1,20}{30}\right) = 2,29^\circ$$

A dispersão angular total da direcção de observação, ou seja, da direcção de medição, não deve exceder $0,33^\circ$.

Logo,

$$G = \frac{1}{\sin(2,29^\circ)} = 25,027$$

- Coeficiente de Luminância Retroreflectida, R_L

Para o coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , o método A é baseado na definição:

$$R_L = \frac{L_m}{E_L^\perp}$$

em que:

L_m [cd/m²] – Luminância do campo medido de uma marca rodoviária;

E_L^\perp [lx] – Iluminância do campo num plano perpendicular à direcção de iluminação.

O método B é baseado numa modificação da definição de R_L :

$$R_L = \frac{(G * I)}{\Phi}$$

em que:

G – Factor geométrico;

I – Intensidade de luz reflectida de um campo iluminado da marca rodoviária;

Φ – Fluxo luminoso transmitido ao campo.

O factor geométrico G , é dado por:

$$G = \frac{\text{sen } \varepsilon}{\text{sen } \alpha}$$

sendo ε , o ângulo de iluminação.

O ângulo de iluminação, ε , é o ângulo entre a direcção de iluminação e o plano de referência, (Figura 43), sendo a direcção de iluminação a direcção central de todos os raios do sistema de iluminação para o campo iluminado.

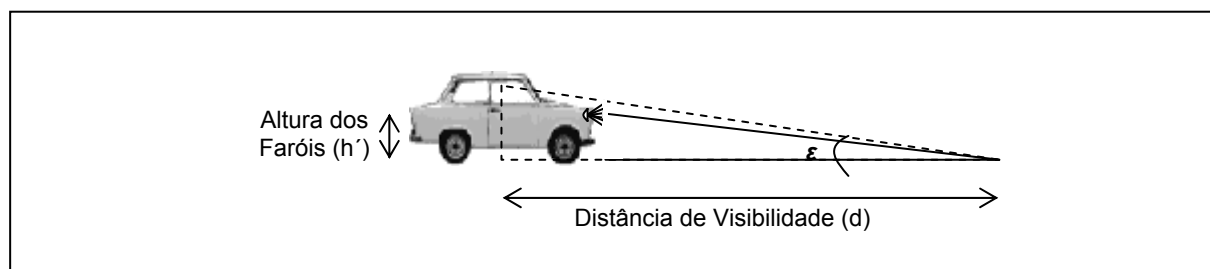


Figura 43 – Ângulo de iluminação

Para condições standard de medição:

$$\varepsilon = \arctg\left(\frac{h'}{d}\right) = \arctg\left(\frac{0,65}{30}\right) = 1,24^\circ$$

A dispersão angular total da direcção de iluminação não deve exceder $0,33^\circ$ num plano paralelo ao plano de referência e $0,17^\circ$ num plano perpendicular ao plano de referência.

Logo,

$$G = \frac{\text{sen}(1,24^\circ)}{\text{sen}(2,29^\circ)} = 0,542$$

O equipamento de medição utilizado deve possuir alcance e sensibilidade suficientes para ler os valores de Q_d que variam desde 1 até ao valor máximo de $318 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ e os valores de R_L que variam desde 1 até $2000 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$.

3.4.2.2 Medição Laboratorial

A medição laboratorial é utilizada para estabelecer valores de Q_d e de R_L de amostras que serão utilizadas para testar ou calibrar equipamento utilizado em campo.

Uma amostra em laboratório é iluminada em toda a sua superfície, logo, o método a aplicar será o método A.

O aparelho fotométrico utilizado na medição laboratorial poderá ser um medidor de luminância ou uma máquina fotográfica digital de boa qualidade e o sistema de iluminação poderá ser uma lâmpada halogénea incandescente com um reflector.

Em laboratório o valor de Q_d é expresso em $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ e é dado pela seguinte relação:

$$Q_d = \frac{L_m}{E_L} * 1000$$

em que:

L_m [cd/m^2] – Luminância da marca rodoviária;

E_L [lx] – Iluminância no plano da amostra.

O valor de R_L é também expresso em $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ e é dado pela seguinte relação:

$$R_L = \frac{((m_1 - m_0) * d^2)}{\Phi} * G * 1000$$

em que:

m_0 – Leitura do coeficiente de luminância retroreflectida da envolvente;

m_1 – Leitura do coeficiente de luminância retroreflectida da amostra da marca rodoviária;

d [m] – Distância do centro de referência ao aparelho fotométrico;

G – Factor geométrico, cujo valor é de 0,542;

Φ – Fluxo luminoso transmitido à marca rodoviária.

As amostras utilizadas para testar ou calibrar equipamento portátil necessitam ter, pelo menos, 40cm de comprimento. Se o equipamento a testar ou calibrar for portátil montado em automóveis, as amostras precisam de ser maiores. A largura adequada para as amostras é de 20cm.

A vantagem do equipamento montado em veículos em relação ao equipamento portátil utilizado manualmente é que no equipamento montado em veículos as medições podem ser efectuadas enquanto se circula à velocidade de tráfego, podendo ser utilizado em grandes extensões e em casos onde a utilização de equipamento portátil utilizado manualmente exige precauções exaustivas, particularmente em auto-estradas.

3.5 Ensaios a Efectuar e Parâmetros a Analisar

Verifica-se em Portugal um vazio normativo relativamente aos parâmetros a avaliar e aos ensaios a efectuar às marcas rodoviárias. É necessário verificar e controlar a qualidade das marcas durante e após a sua execução, bem como a sua conservação garantindo assim uma maior eficiência e qualidade da sinalização horizontal no nosso país.

Durante a execução, sempre que seja necessário verificar a conformidade das características dos materiais a aplicar com os estabelecidos no caderno de encargos, [10], o empreiteiro submeterá os materiais à aprovação do fiscal da obra que possui o direito de tomar amostras e mandar proceder às análises e ensaios que julgar convenientes.

Os ensaios realizados podem ser feitos em campo ou em laboratório. Em campo, o parâmetro ensaiado é a resistência à derrapagem, PTV, enquanto que em laboratório, analisam-se em separado, parâmetros relacionados com a tinta e parâmetros relacionados com as esferas de vidro.

Os parâmetros ensaiados em laboratório, relacionados com a tinta são os seguintes:

- Repassamento;
- Resistência ao envelhecimento acelerado;
- Resistência à imersão em água;
- Resistência à alteração da cor;
- Factor de luminância;
- Resistência à derrapagem.

Os parâmetros analisados em laboratório, para as esferas de vidro são:

- Resistência à água;
- Resistência aos ácidos;
- Resistência ao cloreto de cálcio em solução;
- Granulometria;
- Coeficiente de retroreflexão.

De acordo com o *Caderno de Encargos da ex-JAE*, [11], as prescrições técnicas que definem as características exigidas aos materiais a empregar em marcação rodoviária são as seguintes:

- Repassamento – o material aplicado sobre base de argamassa betuminosa, não deve apresentar, por repassamento, uma variação de cor inferior ao grau 8 da escala fotográfica da especificação *ASTM D 868-48*;
- Resistência ao envelhecimento acelerado – o material aplicado sobre argamassa betuminosa, quando sujeito a envelhecimento acelerado durante 168 horas numa máquina “*Weather-Ometer*” de arco voltaico, com o seguinte ciclo diário:
 - 17 horas de luz e calor (55°C, com molhagem intermitente de 18 em 18 minutos);
 - 2 horas de chuva forte;
 - 5 horas de repouso.

Não deverá apresentar qualquer defeito assinalável à observação visual;

- Resistência à imersão em água – o material aplicado sobre fibrocimento, seco durante 72 horas ao ar e imerso em água à temperatura de 20°C a 30°C durante 24 horas e observado 2 horas mais tarde, não deverá apresentar empolamento, fissuração, nem destacamento em relação à base;
- Resistência à alteração da cor – o material submetido à acção da luz solar artificial durante 100 horas, não deve apresentar alteração de cor;
- Factor de luminância – o factor de luminância do material branco, determinado numa direcção normal à superfície com iluminação a 45°, por uma fonte CIE do tipo C, não deve ser inferior a 0,70 segundo a *NP 522-1966*;

- Resistência à derrapagem – o material deverá apresentar uma resistência ao atrito não inferior a 45 BPN, medida com o “*pêndulo britânico*”. Em zonas pontualmente perigosas, aquele valor deverá ser superior a 50 BPN.

No que diz respeito às pérolas reflectoras:

- Resistência à água – após 60 minutos de tratamento por refluxo com água destilada, as pérolas não devem apresentar alteração superficial;
- Resistência aos ácidos – após 90 horas de imersão numa solução diluída de ácido à temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, estabilizada a um PH entre 5 e 5.3, as pérolas não devem apresentar senão uma ligeira perda de brilho em comparação com uma amostra não sujeita ao ensaio;
- Resistência ao cloreto de cálcio em solução – após 3 horas de imersão numa solução aquosa de cloreto de cálcio a 5.5%, à temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, as pérolas não deverão apresentar nenhuma alteração superficial em comparação com uma amostra não sujeita ao ensaio;
- Granulometria – a granulometria das pérolas introduzidas previamente no material deve estar de acordo com os valores a seguir especificados, (Quadro 8a),

Peneiro ASTM	Percentagem acumulada do material que passa
1,700mm	100
0,425mm	0 - 10

Quadro 8a – Granulometria das pérolas introduzidas previamente na tinta, [11]

- a granulometria das pérolas de vidro projectadas no momento da aplicação do material deve estar de acordo com os valores seguintes, (Quadro 8b),

Peneiro ASTM	Percentagem acumulada do material que passa
1,700mm	100
0,600mm	80 - 100
0,425mm	45 - 100
0,300mm	10 - 45
0,212mm	0 - 25
0,075mm	0 - 5

Quadro 8b – Granulometria das pérolas projectadas no momento da aplicação da tinta, [11]

3.6 Inspeção Visual, Auscultação e Conservação das Marcas

É de grande importância proceder-se à inspecção da sinalização horizontal ao longo da sua vida útil, pois só assim é que se consegue garantir a eficácia da marcação rodoviária, isto é, manter uma transferência de informação adequada entre a marca rodoviária e o condutor de modo a assegurar uma orientação óptica indispensável.

Após a execução das marcas rodoviárias é necessário proceder-se a uma inspecção visual nocturna destas com o objectivo de verificar a visibilidade permitida pela retroreflexão das esferas de vidro. Só convém verificar a visibilidade nocturna alguns dias após a pintura da marca de modo a permitir que haja um desgaste da tinta colocando assim as esferas de vidro “à vista” na sua superfície.

A auscultação da marcação rodoviária poderá ser feita através de inspecção visual ou utilizando aparelhos próprios, como é o caso do Ecodyn, (Figura 44), [12].



Figura 44 – Ecodyn

O Ecodyn é um aparelho que permite determinar a visibilidade diurna e noturna das marcas rodoviárias a cada 0,40m percorridos. Consiste numa caixa de medição removível, acoplado a um veículo ligeiro, cujo interior contém um microcomputador industrial, que controla todo o sistema e recolhe e verifica todas as leituras realizadas.

Tem como dimensões:

- 0,75m de comprimento;
- 0,21m de largura;
- 0,42m de altura.

Pesa quinze quilos e é alimentada por uma bateria ligada em paralelo com a bateria do veículo. A unidade de medição contém uma fonte de luz branca e emissores-receptores ópticos com modulação mecânica e utiliza como geometria de medição, um ângulo de iluminação de 1,24° e um ângulo de observação de 2,29°.

As inspecções são executadas em situações normais de tráfego, a uma velocidade que poderá ir até aos 110km/h.

Os parâmetros avaliados pelo Ecodyn são os seguintes:

- Contraste, C , quer de dia, quer de noite;
- Coeficiente de Luminância Retroreflectida, R_L .

Após a execução das marcas rodoviárias de acordo com o estipulado no caderno de encargos e com a aprovação por parte da fiscalização dos materiais utilizados, [10], é necessário acompanhar a evolução do desgaste das marcas e proceder à sua limpeza sempre que necessário.

O acompanhamento das marcas pode ser feito com base num inventário que possui uma base de dados associada, (Figura 45), onde se recolhe a seguinte informação:

- Localização e descrição;
- Caracterização;
- Data de execução;
- Data de vistoria;
- Estado.

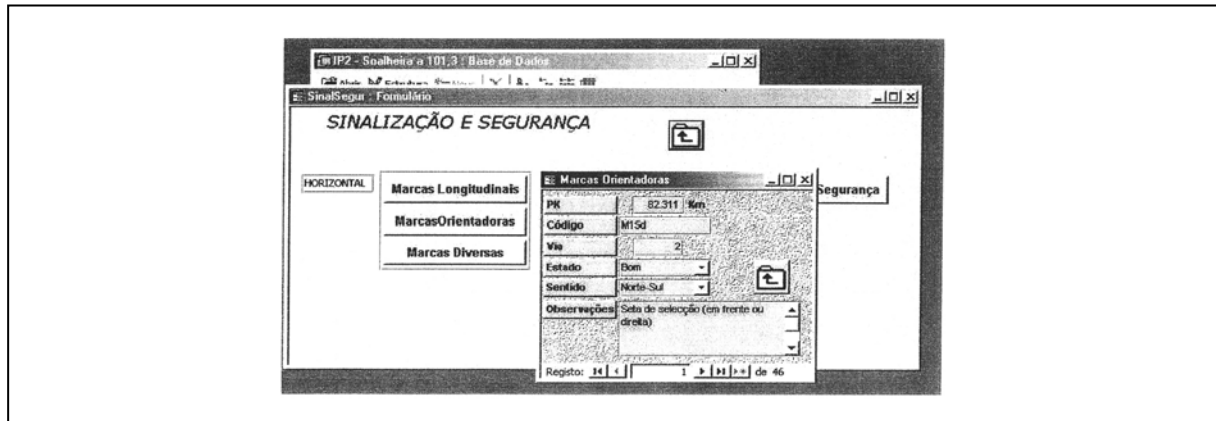


Figura 45 – Acompanhamento das marcas rodoviárias

É necessário dar a devida importância à inspecção, auscultação e conservação da sinalização horizontal e adaptar as normas e métodos adequados, criando assim uma nova consciência sobre o assunto.

Capítulo 4

Materiais e Processos de Aplicação

Capítulo 4

Materiais e Processos de Aplicação

4.1 Introdução

Ao longo dos anos, os materiais e os processos de aplicação utilizados para a materialização das marcas rodoviárias foram evoluindo em consequência da construção de mais e melhores vias de comunicação, devido ao crescimento acelerado do número de veículos em circulação. Esta progressão surgiu para dar resposta, não só às necessidades dos condutores garantindo a sua segurança e comodidade, mas também para que os trabalhos de sinalização fossem executados em menor espaço de tempo, conferindo a qualidade final exigida.

No presente capítulo são apresentados os diferentes tipos de materiais utilizados na concretização da marcação rodoviária, as respectivas características a exigir, os processos de aplicação utilizados para cada tipo de material e os métodos de execução.

4.2 Materiais de Marcação e suas Aplicações

Na materialização das marcas rodoviárias, os materiais mais utilizados são as tintas acrílicas de aplicação a frio, nomeadamente as tintas acrílicas de um componente e as tintas acrílicas de dois componentes, as tintas acrílicas de aplicação a quente, conhecidas por tintas termoplásticas, e as telas retroreflectoras.

Os materiais em estado líquido, utilizados em marcação rodoviária, encontram-se geralmente classificados de acordo com o tipo de tinta empregue e de acordo com a existência de esferas de vidro previamente misturadas ou aplicadas “in-situ”, ou de outros elementos, nomeadamente agregados anti-deslizamento.

A mistura “in-situ” de esferas de vidro é feita não só em produtos que não contenham esferas de vidro, mas também em produtos que já contenham esferas de vidro previamente misturadas, pois as esferas previamente misturadas apenas se tornam activas após algum desgaste da marca rodoviária e é necessário assegurar a carácter reflector da marca numa fase inicial da sua vida útil, garantindo assim os requisitos iniciais exigidos.

De seguida procede-se à descrição de cada um dos materiais utilizados em marcação rodoviária, referindo as suas características mais relevantes, o seu campo de aplicação e os respectivos processos de aplicação.

4.2.1 Tintas Acrílicas de Um Componente

As tintas acrílicas de um componente são utilizadas para marcações de camada fina e têm como veículo uma resina puramente acrílica de excelente solidez. A sua pigmentação é conseguida através da utilização de pigmentos inorgânicos, resistentes à luz e intempéries. São geralmente aplicadas a frio e podem ser empregues sobre betuminoso, betão de cimento e cubos.

Os processos utilizados para a aplicação das tintas acrílicas de um componente podem ser, pistola, rolo, trincha ou máquina própria, (Figura 46).



Figura 46 – Aplicação de tinta acrílica de um componente com máquina própria

Conforme o processo de aplicação utilizado, as tintas acrílicas de um componente podem ser diluídas em água ou podem conter diluente.

4.2.2 Tintas Acrílicas de Dois Componentes

As tintas acrílicas de dois componentes, igualmente denominadas por resinas de aplicação a frio, são utilizadas para marcações de camada espessa e apenas podem ser aplicadas sobre betuminoso e betão de cimento. Têm como veículo uma resina puramente acrílica e os pigmentos são inorgânicos com excelente solidez. São aplicadas com equipamento especializado ou à mão com uma espátula, colher ou talocha, (Figura 47).



Figura 47 – Aplicação de tinta acrílica de dois componentes com uma espátula ou equipamento especializado

Estas tintas endurecem através de uma reacção química, verificada já na própria faixa de rodagem. Para tal, o componente base é misturado com o endurecedor imediatamente antes da sua aplicação.

As tintas acrílicas de dois componentes proporcionam marcações muito resistentes à abrasão devido à espessura da camada e possibilitam uma maior durabilidade em relação às tintas acrílicas de um componente.

4.2.3 Tintas Termoplásticas

As tintas termoplásticas são massas fundíveis (derretem pela acção do calor), igualmente conhecidas por resinas de aplicação a quente, que apresentam agentes aglutinantes que podem ser fluidificados e aplicados a temperaturas que oscilam entre os 180°C e os 220°C. A sua aplicação requer a utilização de equipamento específico que tenha capacidade para aquecer a tinta a temperaturas elevadas, de modo a permitir que esta tenha a consistência necessária para o seu emprego sobre betuminoso, betão de cimento ou cubos, (Figura 48).



Figura 48 – Aplicação de tinta termoplástica com equipamento específico

Tal como as tintas acrílicas de dois componentes, as tintas termoplásticas são utilizadas para marcações de camada espessa e têm maior durabilidade que as tintas acrílicas de um componente.

4.2.4 Telas Retroreflectoras

As telas retroreflectoras são uma categoria particular dos materiais utilizados na marcação rodoviária. São pré-fabricadas, não necessitando de adição de outros produtos, quer para garantir retroreflectividade, quer para assegurar resistência ao deslizamento. Estas podem ser lineares, em peças de determinadas dimensões ou em rolos, (Figura 49), e podem ainda ser cortadas na forma de símbolos ou sinais.



Figura 49 – Telas retroreflectoras

A tela retrorefletora adapta-se bem à textura do substrato e tem capacidade de aderência sem utilização de activação por calor. Para melhorar a adesividade entre a tela e o substrato, poderá ser aplicado um primário.

As telas retroreflectoras podem ser, tal como as tintas, de aplicação permanente ou temporária. As temporárias podem ser classificadas em retiráveis ou não, sendo ambas de perfil plano, tendo a retirável espessura nominal mínima de 1,30mm e a não retirável 0,20mm. As telas temporárias retiráveis devem ainda ter a capacidade de serem removidas completamente sem a utilização de agentes químicos (decapantes) ou calor, em que após a sua remoção, não se deverá verificar qualquer deformação no pavimento, nem nenhuma marca permanente evidente.

4.2.5 Pérolas Reflectoras

O carácter retroreflector da marca rodoviária obtém-se através da incorporação prévia ou posterior de esferas de vidro, que tal como o nome indica, são de vidro transparente ou de material equivalente, (Figura 50).

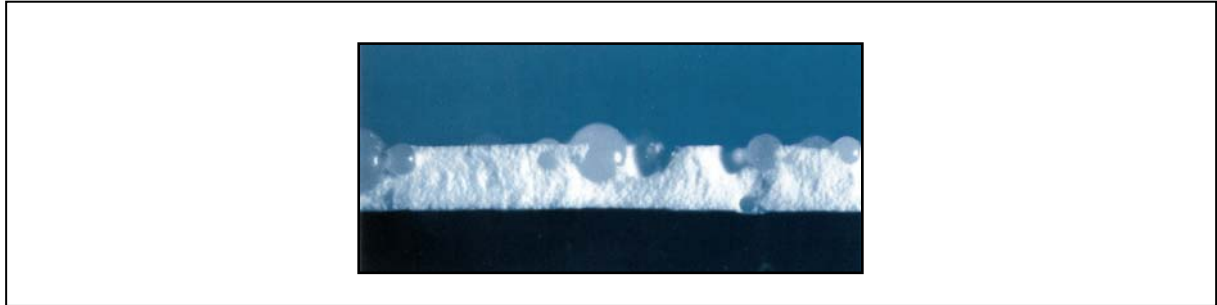


Figura 50 – Incorporação das pérolas reflectoras na marca rodoviária

As esferas deverão ser incolores, de forma a não provocarem nas marcas rodoviárias modificação da sua cor quando expostas à luz.

A quantidade de “luz devolvida” depende de inúmeros factores, entre os quais, [3]:

- A natureza do vidro utilizado e o seu índice de refacção;
- A forma das esferas e as suas imperfeições;
- A granulometria das esferas;
- A quantidade de esferas utilizadas.

Rejeitam-se as esferas que, [13]:

- Não sejam esféricas;
- Sejam opacas;
- Contenham bolhas de gás de dimensões superior a 25% da sua área;
- Contenham grãos de material estranho.

4.3 Características Exigidas às Tintas Utilizadas em Marcação Rodoviária

A selecção das características a exigir a uma determinada marca rodoviária depende do seu tipo e das funções que esta deve desempenhar, pois nem todas as características são relevantes. É necessário uma particularização, em especificações nacionais, das características essenciais para cada utilização possível das marcas de modo a garantir um bom comportamento destas, quer numa fase inicial, quer ao longo da sua vida útil.

Relativamente à utilização de esferas de vidro, é habitual considerarem-se três situações distintas:

- A – com esferas de vidro pré-misturadas e com ou sem a aplicação de esferas de vidro durante a pintura da marca rodoviária;
- B – sem esferas de vidro pré-misturadas e com a aplicação de esferas de vidro durante a pintura da marca rodoviária;
- C – sem a utilização de esferas de vidro.

Estas três situações conjugadas com os três tipos de tinta existentes, (Acrílica de um componente, Acrílica de dois componentes e Termoplástica), dão origem a uma classificação em nove grupos, de A1 a C3, representados no quadro 9, onde se especificam os vários tipos de tintas utilizadas em marcação rodoviária, de acordo com a existência, ou não, de esferas de vidro pré-misturadas e/ou aplicadas durante a pintura da marca, de modo a facilitar a sua identificação nos quadros que se apresentam a seguir, referentes às características exigidas.

Grupo	Tipo de Material		
	1	2	3
A	Tinta Acrílica de Um Componente	Tinta Termoplástica	Tinta Acrílica de Dois Componentes
B	Tinta Acrílica de Um Componente	Tinta Termoplástica	Tinta Acrílica de Dois Componentes
C	Tinta Acrílica de Um Componente	Tinta Termoplástica	Tinta Acrílica de Dois Componentes

Quadro 9 – Classificação das tintas utilizadas nas marcações rodoviárias, [14]

Na norma europeia, EN 1871:2000, encontram-se expressos os valores necessários para a definição do critério “pass/fail”, critério este que estabelece valores limite a serem satisfeitos pelas várias características possíveis a exigir a uma marca rodoviária permanente, dependendo da função a desempenhar, de modo a avaliar se esta garante um bom comportamento. Apenas as características consideradas relevantes, para uma marca rodoviária, é que devem satisfazer aos valores definidos no critério “pass/fail”.

Nos quadros que se seguem, encontram-se representados os valores a respeitar, para o critério “pass/fail”, dependendo do tipo de tinta utilizada e da sua cor. Estes valores estão definidos para duas situações distintas de durabilidade:

- Durabilidade contra abrasão, nomeadamente devido ao efeito de abrasão provocado pelo tráfego, (Quadros 10, 11, 12 e 13);
- Durabilidade contra interações múltiplas, ou seja, devido à interação de múltiplos factores, nomeadamente condições atmosféricas e tráfego, (Quadros 14, 15, 16 e 17).

Características de Visibilidade	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Abrasão	
		Tinta Branca A1, A2, A3, B1, B2, B3	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	35
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,30
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q _d]	100	100
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(a)	(a)
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R _L piso seco - R]	100	100
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R _L piso molhado - RW]	25	25
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R _L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	500.000

Quadro 10 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias brancas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Abrasão	
		Tinta Amarela A1, A2, A3, B1, B2, B3	
Características de Visibilidade		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	35
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,20	0,20
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	80	80
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(b)	(b)
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R_L piso seco - R]	80	80
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R_L piso molhado - RW]	25	25
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R_L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	500.000

Quadro 11 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Abrasão	
		Tinta Branca C1, C2, C3	
Características de Visibilidade		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	35
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,30
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	100	100
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(a)	(a)
	Durabilidade (número de passagens)	-	500.000

Quadro 12 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias brancas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]

Características de Visibilidade	Características	Critério "Pass/Fail" Durabilidade Contra Abrasão	
		Tinta Amarela C1, C2, C3	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	35
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,20	0,20
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q _d]	80	80
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(b)	(b)
	Durabilidade (número de passagens)	-	500.000

Quadro 13 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]

Características de Visibilidade	Características	Critério "Pass/Fail" Durabilidade Contra Interações Múltiplas	
		Tinta Branca A1, A2, A3, B1, B2, B3	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	45
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,30
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q _d]	100	100
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(a)	(a)
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R _L piso seco - R]	100	100
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R _L piso molhado - RW]	25	25
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R _L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	(c)

Quadro 14 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de marcas rodoviárias brancas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Interações Múltiplas	
		Tinta Amarela A1, A2, A3, B1, B2, B3	
Características de Visibilidade		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	45
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,20	0,20
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	80	80
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(b)	(b)
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R_L piso seco - R]	80	80
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R_L piso molhado - RW]	25	25
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R_L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	(c)

Quadro 15 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes aos grupos A e B do quadro 9, [14]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Interações Múltiplas	
		Tinta Branca C1, C2, C3	
Características de Visibilidade		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	45
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,30
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	100	100
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(a)	(a)
	Durabilidade (número de passagens)	-	(c)

Quadro 16 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de marcas rodoviárias brancas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Interações Múltiplas	
		Tinta Amarela C1, C2, C3	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	45
Características de Visibilidade	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,20	0,20
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	80	80
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(b)	(b)
	Durabilidade (número de passagens)	-	(c)

Quadro 17 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de marcas rodoviárias amarelas pertencentes ao grupo C do quadro 9, [14]

(*) Para marcas rodoviárias com relevo este valor não é medível. Neste caso é suficiente indicar “marca rodoviária com ressaltos”.

(a) As coordenadas cromáticas devem pertencer à região definida para marcas rodoviárias brancas na EN 1436:1997.

(b) As coordenadas cromáticas devem pertencer à região definida para marcas rodoviárias amarelas de utilização permanente na EN 1436:1997.

(c) A duração do teste deve incluir um ciclo climático completo de pelo menos um ano. No fim deste período, o número de passagens será registado e assinalado de acordo com as classes especificadas na cláusula 7.2.1 da EN 1824:1997.

As marcas rodoviárias pertencentes ao grupo C do quadro 9 não são caracterizadas quanto ao coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , pois este grupo corresponde a tintas sem a utilização de esferas de vidro, logo não há retroreflexão.

Verifica-se pelos quadros anteriores, referentes ao critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, e para a durabilidade contra interações múltipla, que os níveis de comportamento exigidos para as diferentes classes de tintas e para as diferentes características, são iguais quer numa fase inicial, quer numa fase posterior durante a vida útil da marca rodoviária, excepto para a resistência ao deslizamento que exige um comportamento de maior nível para a durabilidade contra interações múltiplas ao longo da sua vida útil.

Esta situação verifica-se devido ao facto de na durabilidade contra interações múltiplas, não se tem em conta apenas o efeito do tráfego, mas também o efeito das condições atmosféricas, o que torna a situação mais agravante, isto é, a aderência entre o pneu e a superfície de contacto é agravada devido à influência das condições atmosféricas sobre o atrito da superfície.

De todos os valores a respeitar no critério “pass/fail” para as duas situações de durabilidade, apenas o valor da resistência ao deslizamento para a marcação rodoviária ao longo da sua vida útil na situação de durabilidade contra abrasão, não corresponde às classes mínimas exigidas às características de visibilidade referidas no capítulo 3, impostas aos materiais utilizados na materialização da marcação rodoviária. O seu valor é inferior ao valor mínimo exigido para a resistência ao deslizamento no capítulo 3, de modo a garantir uma adequada visibilidade das marcas. Deduz-se que esta situação poderá ser um erro.

Em resumo, pode-se afirmar que, independentemente do tipo de tinta a utilizar e da situação de durabilidade, os valores mínimos a respeitar para as diferentes características no critério “pass/fail” são, (Quadro 18):

		Características	Tinta Branca	Tinta Amarela
Características de Visibilidade		Resistência ao Deslizamento (valor inicial), [PTV] ^(*)	45	45
		Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,20
		Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	100	80
		Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R_L piso seco - R]	100	80
		Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R_L piso molhado - RW]	25	25
		Coeficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R_L chuva - RR]	25	25

Quadro 18 – Resumo dos valores mínimos a respeitar para o critério “pass/fail”

Os valores referentes ao coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , só se aplicam aos grupos que possuem esferas de vidro incorporadas previamente e/ou posteriormente, designadamente aos grupos A e B referidos anteriormente. Não se aplicam ao grupo C.

4.4 Características Exigidas às Telas Retroreflectoras Permanentes

Tendo em conta que, por um lado, o comportamento das telas permanentes é sensível a variações climáticas e a factores de tráfego como a velocidade, [15], e por outro lado, o facto de as características essenciais requeridas às telas permanentes poderem variar dependendo da sua localização no pavimento, do tipo de estrada, etc., a escolha final das características essenciais e da durabilidade e resistência necessárias poderão diferir dependendo da função de utilização que a marca terá de desempenhar.

A durabilidade da tela permanente é considerada da mesma forma que a durabilidade das tintas:

- Durabilidade contra abrasão;
- Durabilidade contra interacções múltiplas.

Sendo a durabilidade a capacidade que uma marca rodoviária possui em conservar os níveis de comportamento ou obedecer aos critérios “pass/fail”, especificados para as características relevantes, é necessário então garantir um bom comportamento perante o efeito de abrasão provocada pelo tráfego ou perante a interacção de múltiplos parâmetros, nomeadamente condições atmosféricas e tráfego.

É importante salientar que, tal como para as tintas, nem todas as características mencionadas são relevantes para todas as utilizações possíveis das telas permanentes. É da responsabilidade das autoridades rodoviárias seleccionar de todas as características existentes, as mais relevantes para a marca em causa, em função da sua utilização e tarefa a desempenhar.

Os quadros que se seguem, (Quadros 19, 20, 21 e 22), definem os valores a garantir para os critérios “pass/fail” para cada característica, de forma a garantir um bom nível de comportamento, inicial e ao longo da sua vida útil, de resistência ao deslizamento e de visibilidade (diurna e nocturna), permitindo assim verificar se determinada tela satisfaz ou não a durabilidade exigida quando sujeita a abrasão ou a interacção múltipla.

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Abrasão	
		Tela Branca	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
Características de Visibilidade	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	40
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,30
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q _d]	100	100
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(a)	(a)
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R _L piso seco - R]	100	100
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R _L piso molhado - RW]	25	25
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R _L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	500.000

Quadro 19 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de telas brancas permanentes, [15]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Abrasão	
		Tela Amarela	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
Características de Visibilidade	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	40
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,20	0,20
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q _d]	80	80
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(b)	(b)
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R _L piso seco - R]	80	80
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R _L piso molhado - RW]	25	25
	Coefficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R _L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	500.000

Quadro 20 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão, de telas amarelas permanentes, [15]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Interações Múltiplas	
		Tela Branca	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
Características de Visibilidade	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	40
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,30	0,30
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	100	100
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(a)	(a)
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R_L piso seco - R]	100	100
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R_L piso molhado - RW]	25	25
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R_L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	(c)

Quadro 21 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de telas brancas permanentes, [15]

	Características	Critério "Pass/Fail"	
		Durabilidade Contra Interações Múltiplas	
		Tela Amarela	
		Comportamento numa fase inicial	Comportamento ao longo da sua vida útil
Características de Visibilidade	Resistência ao Deslizamento, [PTV] ^(*)	45	40
	Factor de Luminância, [β] ^(*)	0,20	0,20
	Coef. de Luminância em condições de iluminação difusa, [Q_d]	80	80
	Coordenadas Cromáticas, (x,y)	(b)	(b)
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso seco, [R_L piso seco - R]	80	80
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em piso molhado, [R_L piso molhado - RW]	25	25
	Coeficiente de Luminância Retroreflectida em situação de chuva, [R_L chuva - RR]	25	25
	Durabilidade (número de passagens)	-	(c)

Quadro 22 – Critério “pass/fail” para a durabilidade contra interações múltiplas, de telas amarelas permanentes, [15]

(*) Para marcas rodoviárias com relevo este valor não é medível. Neste caso é suficiente indicar “marca rodoviária com ressalto”.

(a), (b) As coordenadas cromáticas devem pertencer à região definida para marcas rodoviárias brancas e marcas rodoviárias amarelas de utilização permanente, respectivamente, na EN 1436:1997.

(c) A duração do teste deve incluir um ciclo climático completo de pelo menos um ano. No fim deste período, o número de passagens será registado e assinalado de acordo com as classes especificadas na cláusula 7.2.1 da EN 1824:1997.

Verifica-se pelos quadros anteriores, que as diferentes características exigidas para as telas retroreflectoras, referentes ao critério “pass/fail” para a durabilidade contra abrasão e para a durabilidade contra interações múltipla, são iguais quer numa fase inicial, quer numa fase posterior durante a vida útil desta.

Dos valores indicados pelo critério “pass/fail”, apenas o valor da resistência ao deslizamento ao longo da vida útil da tela permanente na situação de durabilidade contra abrasão, não corresponde às classes mínimas exigidas às características de visibilidade referidas no capítulo 3, tal como se verificou para as tintas. Também para as telas, o seu valor é inferior ao valor mínimo exigido para a resistência ao deslizamento no capítulo 3. Tal como se concluiu para as características exigidas às tintas utilizadas em marcação rodoviária, também esta situação aqui verificada deve ser um erro.

É ainda de referir que os valores mínimos a respeitar no critério “pass/fail” para as diferentes características a exigir às telas retroreflectoras, são iguais aos valores mínimos exigidos para as tintas.

4.5 Regulamentação Aplicável em Alguns Países Europeus

A existência de regulamentos, ou seja, documentos onde se estabelecem prescrições técnicas que determinam critérios generalizados a que um produto deve obedecer, nomeadamente as características base que devem ser satisfeitas por cada um dos diferentes materiais aplicáveis na sinalização horizontal, é fundamental na organização das regras de procedimento a exigir a cada um deles para que haja uma boa qualidade na marcação rodoviária compatível com as necessidades dos utentes garantindo fluidez e segurança na circulação.

Apresentam-se de seguida, quadros onde se encontram especificados de uma forma sucinta, os vários regulamentos nacionais existentes, para os diferentes materiais utilizados, em alguns países europeus, designadamente, Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, França, Holanda, Itália, Reino Unido e Suécia, (Quadros 23, 24, 25 e 26).

Tintas Acrílicas de Um e Dois Componentes e Tintas Termoplásticas

País	Características Essenciais	Regulamento Nacional
Alemanha	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Áustria	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	ÖNORM B2440, B2441
Bélgica	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Standard SB-250
Dinamarca	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Espanha	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	UNE 135-200/2
França	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica para aprovação em laboratório
Holanda	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Condições Standard RAW 1995
Itália	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Reino Unido	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	BS 6044 e especificações técnicas do DEPT. DE TRANSPORTE ou BS 3262 e especificações técnicas do DEPT. DE TRANSPORTE
Suécia	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	VÄG 94 (para termoplásticos de aplicação a quente)

Quadro 23 – Regulamentos nacionais existentes para tintas acrílicas de um componente, tintas termoplásticos e tintas acrílicas de dois componentes, [8]

Pelo quadro 23, verifica-se que as características essenciais a garantir para as diferentes tintas utilizadas na marcação rodoviária são o factor de luminância e as coordenadas cromáticas. Tal como já foi referido no capítulo 3, estas duas características são as únicas que os produtos em estado líquido conseguem oferecer intrinsecamente.

Dos países europeus representados no quadro acima, apenas a Alemanha, a Dinamarca, a França e a Itália, não possuem nenhum regulamento nacional que mencione especificações técnicas para as características essenciais a garantir.

Telas Retroreflectoras

País	Características Essenciais	Regulamento Nacional
Alemanha	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Áustria	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	ÖNORM B2440, B2441
Bélgica	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Standard SB-250
Dinamarca	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Espanha	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	UNE 135-276
França	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Decrees AM67, AM75 e AM95
Holanda	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Condições Standard RAW 1995
Itália	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Reino Unido	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	BS 7896 e especificações técnicas do DEPT. DE TRANSPORTE
Suécia	Resist. ao Deslizamento Factor de Luminância Coef. Luminância Retroreflectida Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica

Quadro 24 – Regulamentos nacionais existentes para telas retroreflectoras, [8]

As características essenciais a exigir às telas retroreflectoras em qualquer um dos países europeus enunciados no quadro anterior, (Quadro 24), são:

- Resistência ao deslizamento;
- Factor de luminância;
- Coeficiente de luminância retroreflectida;
- Coordenadas cromáticas, (x,y).

As telas retroreflectoras, ao contrário das tintas, conseguem oferecer todas estas características juntas, pois sendo um produto pré-fabricado, já se encontram adicionados todos os materiais necessários para as garantir.

Existem várias especificações nacionais diferentes para as telas retroreflectoras, dependendo do país europeu, sendo a Alemanha, a Dinamarca, a Itália e a Suécia, as únicas que não possuem regulamentação a esse nível.

Esferas de Vidro

País	Características Essenciais	Regulamento Nacional
Alemanha	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Regulamentação técnica para testagem e entrega TLP-MG (1971)
Áustria	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	ÖNORM B2440, B2441
Bélgica	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Standard SB-250
Dinamarca	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Não existe nenhuma especificação técnica
Espanha	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	PG-3, Art.289
França	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Decrees AM67, AM75 e AM95
Holanda	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Condições Standard RAW (1995)
Itália	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Não existe nenhuma especificação técnica
Reino Unido	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	Instrumento legal 1519 TSRGD (1994)
Suécia	Índice de Refracção Máxima % de esferas imperfeitas	VÄG 94

Quadro 25 – Regulamentos nacionais existentes para esferas de vidro aplicadas durante a pintura da marca rodoviária, [8]

O índice de refracção e a percentagem máxima de esferas imperfeitas, são as características essenciais a exigir às esferas de vidro adicionadas às marcas rodoviárias.

De entre os países europeus referidos no quadro 25, somente a Dinamarca e a Itália não são dotadas de nenhuma especificação técnica para as pérolas reflectoras utilizadas.

Agregados Anti-Deslizamento

País	Características Essenciais	Regulamento Nacional
Áustria	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Bélgica	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Standard SB-250
Dinamarca	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
França	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Decrees AM67, AM75 e AM95
Alemanha	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Itália	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Holanda	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Espanha	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Suécia	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica
Reino Unido	Factor de Luminância Coord. Cromáticas (x,y)	Não existe nenhuma especificação técnica

Quadro 26 – Regulamentos nacionais existentes para agregados anti-deslizamento aplicados durante a pintura da marca rodoviária, [8]

Quanto aos agregados anti-deslizamento utilizados na marcação rodoviária, pelo quadro 26, verifica-se que as características fundamentais a garantir são, factor de luminância e coordenadas cromáticas.

Os únicos países europeus que se encontram providos de regulamentos nacionais que possuem especificações técnicas para estas características essenciais são a Bélgica, (Standard SB-250), e a França, (Decrees AM67, AM75 e AM95).

Tal como a Dinamarca e a Itália, também Portugal não possui qualquer tipo de regulamentação nacional que refira especificações técnicas necessárias para os diferentes materiais utilizados na marcação rodoviária, nomeadamente os referidos anteriormente, tintas acrílicas de um e dois componentes e tintas termoplásticas, telas retroreflectoras, esferas de vidro e agregados anti-deslizamento.

A única regulamentação nacional existente em Portugal resume-se a três documentos oficiais, como já foi referido no capítulo 2, que indicam as condições em que os sinais de trânsito podem ser usados, os aspectos técnicos da sua aplicação, bem como o significado de cada um, mas não as características intrínsecas que cada produto deve possuir, nem as condições necessárias a reunir para que o material em causa tenha a qualidade pretendida.

4.6 Métodos de Execução das Marcas Rodoviárias

Essencialmente existem dois processos utilizados na execução das marcas rodoviárias, manual e mecânico. Para qualquer um destes métodos, a tinta pode estar, ou não, sujeita a um aquecimento, [13].

4.6.1 Fases de Execução

A execução das marcas rodoviárias passa por várias fases essenciais de forma a garantir uma boa execução destas, nomeadamente:

- Preparação da superfície;
- Marcação experimental;
- Pré-marcação;
- Marcação definitiva.

Procede-se à descrição de cada uma das fases necessárias para a execução das marcas rodoviárias.

Preparação da Superfície

A superfície sobre a qual se procede à pintura da marca rodoviária deve-se apresentar seca e livre de sujidades, nomeadamente detritos e poeiras. No caso de insucesso na pintura da marca rodoviária devido a preparação deficiente da superfície, será o empreiteiro o responsável pelo prejuízo.

Se o pavimento a marcar se encontrar velho e polido, será necessário recorrer à utilização de um aparelho que conceda características adesivas suficientes ao pavimento, a fim de se garantir uma aderência adequada da tinta.

Marcação Experimental

A marcação experimental é uma das fases mais importantes no processo de execução das marcas rodoviárias, pois é ela que garante a verificação da uniformidade das linhas quanto à dimensão, largura, homogeneidade de aplicação da tinta e das pérolas de vidro (para garantia da visibilidade diurna e noturna) e ainda permite a regulação do equipamento de aplicação em termos de velocidade de avanço, pressão de ar no compressor e temperatura.

A marcação experimental é feita fora da zona da obra e em local definido pela fiscalização onde existam características semelhantes à da superfície onde se irá proceder à marcação.

Pré-Marcação

A pré-marcação é obrigatória, não sendo permitido o início da marcação sem que esta tenha sido revista e aprovada pela fiscalização. Sempre que seja possível apoiar mecanicamente a marcação de uma linha na pré-marcação de outra que lhe seja paralela, a pré-marcação desta poderá ser dispensada. É o caso da marcação de guias apoiadas na pré-marcação do eixo.

A pré-marcação pode ser executada manual ou mecanicamente. A manual é executada por meio de um cordel esticado e ajustado ao desenvolvimento das respectivas marcas, ao longo do qual se executa a piquetagem, com o auxílio de um pincel ou outro meio apropriado, piquetagem esta materializada através de pontos, pequenos traços ou por linha contínua fina, ou então recorrendo à pintura de referência ou contornos quando se utilizam moldes. A pré-marcação mecânica não dispensa a pré-marcação manual, pois é sobre esta que ela se apoia. Esta utiliza uma máquina de marcação apropriada, que possui um braço com um ponteiro que executa a piquetagem.

A pré-marcação deve definir no pavimento não só a piquetagem como também a indicação dos limites das zonas com diferentes relações traço-espço e a indicação dos limites das zonas de linhas contínuas. Nas situações em que se utilizam moldes para a sua implantação no local, deve-se definir a pintura de referência.

Marcação Definitiva

A execução da marcação definitiva depende do parecer final da fiscalização face aos resultados obtidos na marcação experimental. Esta não poderá ser iniciada sem a aprovação da marcação experimental por parte da fiscalização.

Tal como a pré-marcação, também a marcação rodoviária poderá ser aplicada manual ou mecanicamente, isto é, por moldagem ou por pulverização, respectivamente. A marcação manual é utilizada na marcação das seguintes marcas rodoviárias:

- Marcas transversais;
- Setas de selecção e de desvio;
- Símbolos;
- Inscrições (números e letras).

Esta é aplicada por espalhamento manual com o auxílio de molde e a sua espessura seca deverá apresentar um valor entre 2,5 e 3,0mm. A temperatura de aplicação deverá situar-se entre 165°C a 190°C e o tempo de secagem não deverá ultrapassar 2 a 3 minutos, tempo este suficiente para que haja ausência de pegajosidade e resistência à passagem de veículos. As caldeiras de aquecimento utilizadas devem estar munidas de dispositivos de agitação mecânica, de modo a evitar a segregação dos diversos constituintes.

A marcação rodoviária executada mecanicamente é utilizada na marcação de linhas longitudinais. São utilizadas máquinas móveis com dispositivos manuais e automáticos de aplicação do material por pulverização e de projecção em simultâneo de esferas de vidro sobre a superfície da tinta. A espessura seca do material aplicado deverá apresentar um valor uniforme não inferior a 1,5mm e a temperatura de aplicação deve situar-se entre 200°C e 220°C. O tempo de secagem não deve ultrapassar os 40 segundos.

4.6.2 Equipamentos Utilizados na Execução das Marcas Rodoviárias

Para a execução das marcas rodoviárias utilizam-se vários tipos de equipamentos, consoante o tipo de tinta a aplicar, [16], [17].

Máquinas de Pintura a Quente

As máquinas de pintura a quente, tal como o próprio nome indica, são utilizadas para a execução de marcas rodoviárias com tintas de aplicação a quente. Estas máquinas têm dimensões consideráveis e são auto-propulsionáveis com depósito de tinta e de esferas

independentes, (Figura 51). Têm grande autonomia e as mais sofisticadas possuem computador para controlar a dosificação dos materiais e o tipo de marca a executar. A tinta é aquecida numa caldeira à parte e só após o seu aquecimento é colocada na máquina.



Figura 51 – Máquina de pintura a quente

Máquinas de Pintura a Frio

No emprego de tintas de aplicação a frio, são utilizadas as máquinas de pintura a frio que, ao contrário das máquinas de pintura a quente, são de dimensões reduzidas e de pequena autonomia, (Figura 52). Estas máquinas possuem um depósito para a tinta e outro para as esferas retroreflectoras, independentes, e são utilizadas em trabalhos pontuais de pequena extensão.



Figura 52 – Máquina de pintura a frio

4.7 Métodos de Eliminação das Marcas Rodoviárias

Sempre que seja necessário apagar marcas rodoviárias existentes ou corrigir marcas pintadas de forma errada, com o objectivo de se executar uma nova marcação, o processo de eliminação a utilizar deverá ser escolhido de entre os seguintes, [13]:

- Decapagem por projecção de um abrasivo sob pressão, não podendo aquele abrasivo ser areia, excepto quando a decapagem seja feita em presença de água;
- Decapagem mecânica, utilizando decapadores mecânicos ou máquinas de percussão próprias, nomeadamente fresadoras, que são máquinas de pequena dimensão que fresam o pavimento a uma profundidade na ordem dos milímetros, (Figura 53).

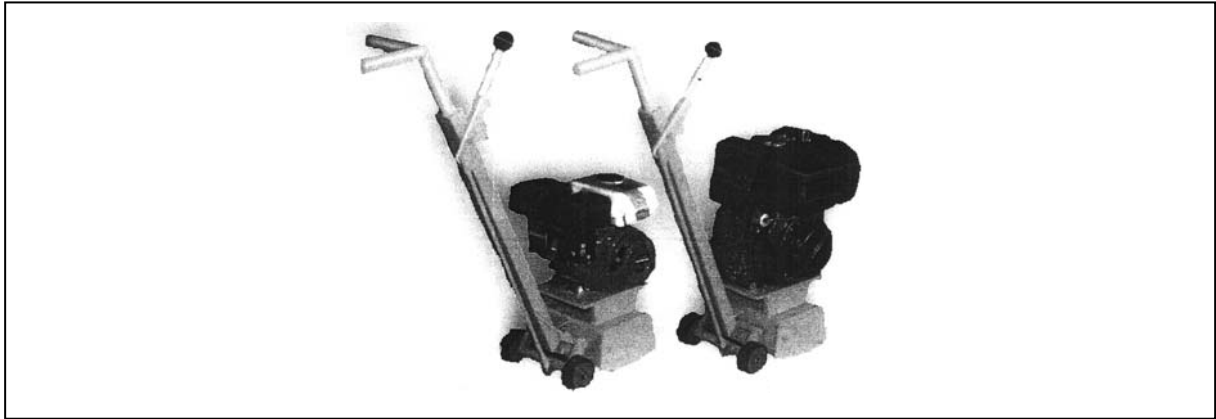


Figura 53 – Fresadoras

Caso as marcas a eliminar sejam de material termoplástico, obtêm-se melhores resultados com tempo frio, para ambos os processos indicados.

Para qualquer um dos dois processos de eliminação indicados anteriormente, devem ser tomadas as seguintes precauções:

- Quando a circulação rodoviária se mantém, a zona de trabalhos deve ser devidamente isolada de modo a garantir segurança na circulação de veículos e peões;
- Após a decapagem, todos os detritos existentes e todos os abrasivos utilizados devem ser cuidadosamente removidos.

Não será permitida, em caso algum, a utilização de processos de recobrimento como método de eliminação de marcas.

Capítulo 5

Estudo Experimental

Capítulo 5

Estudo Experimental

5.1 Objectivos do Estudo Experimental

A sinalização horizontal é a única forma de transmissão de informação, para cuja percepção, não é necessário ao condutor desviar a sua atenção da via onde circula, representando assim a mais efectiva forma de comunicar informação ao condutor. Nos últimos anos, tem-se verificado, por parte dos responsáveis pelas vias públicas, uma crescente atenção para a sinalização rodoviária, motivada principalmente pela necessidade de diminuir os alarmantes índices de sinistralidade, reconhecendo esta como fundamental para a segurança dos utentes da via.

Face a esta crescente preocupação com a sinalização horizontal, principalmente em relação ao desempenho do material utilizado na materialização das marcas, definiu-se como objectivo do presente capítulo, a realização de um estudo experimental a alguns materiais existentes no mercado português e utilizados na marcação rodoviária, analisando algumas das suas características de visibilidade, nomeadamente a luminância e retroreflectividade, através da medição do seu coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e do seu coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , averiguando assim se satisfazem as classes de comportamento mínimas exigidas pelas normas europeias. Determinou-se também o contraste relativo entre os diferentes materiais analisados e o pavimento onde estas se encontram aplicadas, pois como já foi referido no capítulo 3, a visibilidade das marcas depende do contraste existente.

É de salientar que, após uma consulta insistente a várias empresas nacionais, a adesão por parte destas não foi a desejada devido à falta de disponibilidade, o que limitou, em muito, o presente estudo experimental em termos do número de amostras analisadas e da informação recolhida.

Ainda como objectivo deste capítulo, analisaram-se alguns relatórios de homologação de modo a obter algumas informações sobre a evolução do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , em função do número de passagens de rodados.

5.2 Caracterização dos Materiais Utilizados

O estudo experimental incidiu sobre um tipo de pavimento e pintura de utilização corrente, nomeadamente um pavimento betuminoso e tintas acrílicas e termoplásticas de cor branca, ambas com e sem a presença de esferas de vidro pré-misturadas e/ou aplicadas in-situ.

Os moldes de pavimento betuminoso utilizados foram produzidos pela empresa Jaime Queirós Ribeiro, Lda, no Porto, (Figura 54), com 200mm de largura, 300mm de comprimento e 60mm de espessura, sendo a sua constituição de:

- Pó de pedra;
- Inerte 5/8 e 8/15;
- Filler comercial;
- Betume.

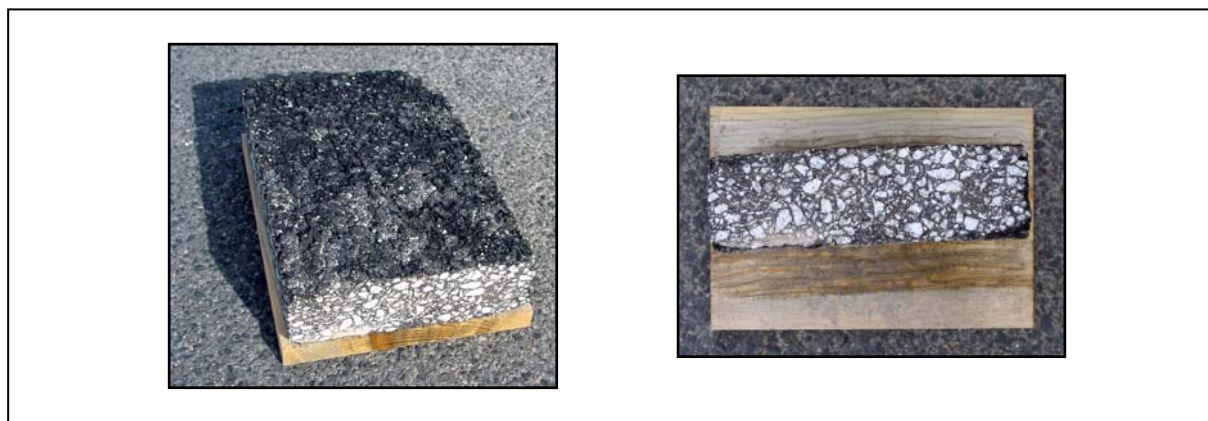


Figura 54 – Molde de pavimento betuminoso

Estes foram depois pintados com várias tipologias de tinta, nomeadamente:

- Tinta acrílica de um componente sem esferas de vidro;
- Tinta acrílica de um componente com esferas de vidro pré-misturadas;
- Tinta acrílica de um componente com esferas de vidro pré-misturadas e aplicadas "in-situ";
- Tinta acrílica de dois componentes sem esferas de vidro;
- Tinta acrílica de dois componentes com esferas de vidro pré-misturadas;
- Tinta acrílica de dois componentes com esferas de vidro pré-misturadas e aplicadas "in-situ";
- Tinta termoplástica sem esferas de vidro;
- Tinta termoplástica com esferas de vidro aplicadas "in-situ".

As tintas acrílicas utilizadas neste estudo, nomeadamente a de um componente e a de dois componentes, foram fornecidas e pintadas sobre o pavimento pela empresa Emplas, [18], na Maia, (Figura 55), e as tintas termoplásticas, pela empresa Roadpaint, em Abrantes, (Figura 56).



Figura 55 – Pintura dos moldes com tinta acrílica

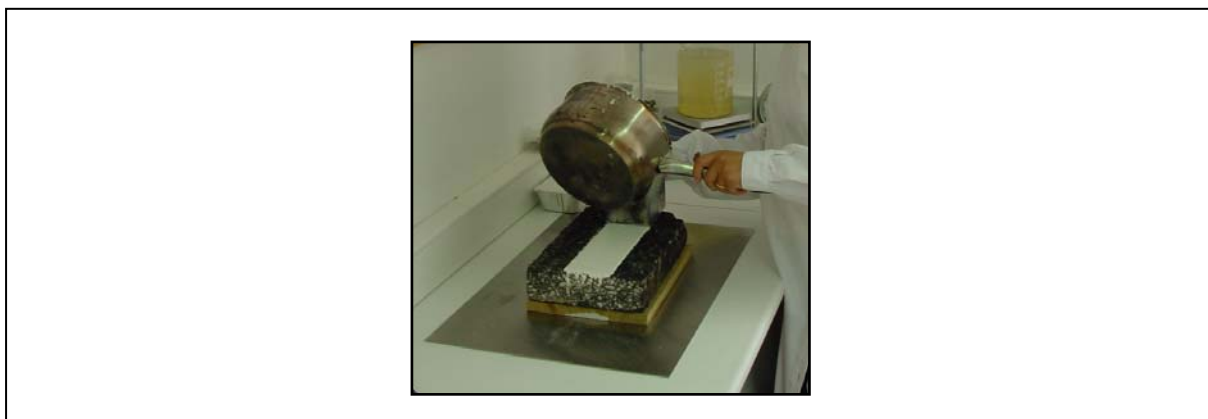


Figura 56 – Pintura dos moldes com tinta termoplástica

As esferas de vidro utilizadas foram de dois tipos distintos, [18], sendo as pré-misturadas de maior calibre que as esferas aplicadas sobre a superfície da marca, ou seja, “in-situ”, pois estas últimas têm que ter capacidade de aderir à tinta de modo a ficarem “coladas” à superfície desta, logo quanto mais pequenas forem as esferas de vidro, melhor se fixam na superfície da tinta.

5.3 Caracterização dos Equipamentos Utilizados para Medição

No presente trabalho experimental, foram realizadas campanhas em período diurno e nocturno, de modo a proceder-se à medição do coeficiente de luminância em condições de

iluminação difusa, Q_d , e do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , de cada um dos materiais a analisar, respectivamente.

Para a realização das medições, foi necessário proceder-se à medição da luminância e da iluminância da superfície da marca através da utilização de equipamentos específicos, nomeadamente de um medidor de luminância e de um medidor de iluminância, também conhecidos por aparelho fotométrico.

Na campanha experimental realizada em período diurno, o medidor de luminância utilizado foi o “Minolta Luminance Meter LS-110”, (Figura 57), cedido pelo Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho.

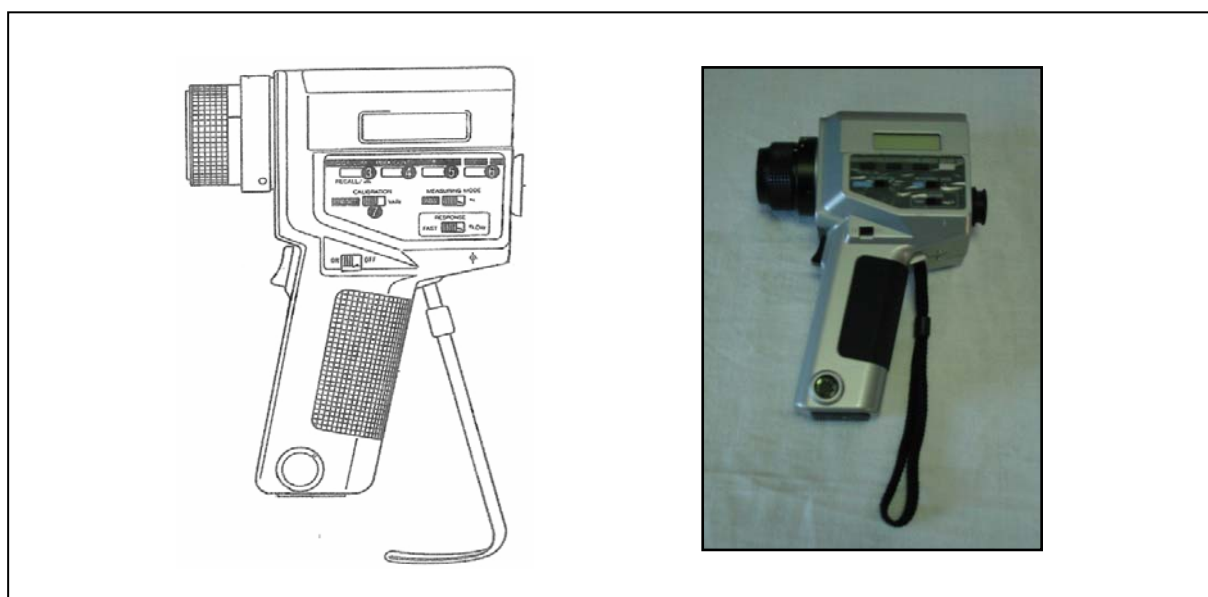


Figura 57 – “Minolta Luminance Meter LS-110”

Este aparelho de medição é equipado com técnicas electrónicas e ópticas avançadas, tornando-o extremamente preciso. Possui um sistema de observação que identifica com precisão a área a medir, não permitindo interferência do brilho das áreas envolventes, e é dotado de um dispositivo interior que permite observar os valores de medição aquando da observação da área medida.

O “Minolta Luminance Meter LS-110” tem alcance suficiente para medir valores de luminância que variem entre 0,01 e 999900 cd/m².

Quanto à medição da iluminância na campanha realizada em período diurno, o equipamento utilizado foi o “J18 LumaColor II Photometer”, juntamente com o “J1811 Illuminance Head”, da Tektronix, (Figura 58 e Figura 59, respectivamente), igualmente cedidos pelo Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho.



Figura 58 – “J18 Lumacolor II Photometer”

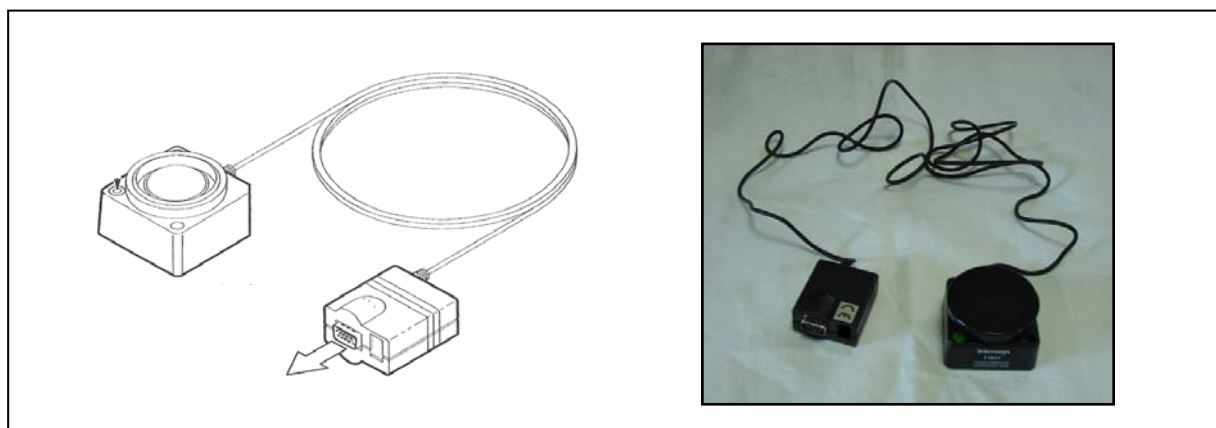


Figura 59 – “J1811 Illuminance Head”

Este aparelho é um fotômetro digital extremamente preciso que tem um alcance suficiente para medir valores de iluminância que variem desde 0,1 a 5000 lx e possui um campo de detecção de 180° que poderá ser utilizado para medir qualquer tipo de iluminação.

Para a campanha experimental realizada em período noturno, foi utilizado equipamento próprio de medição da visibilidade noturna, nomeadamente um Retroreflectómetro, “ZRM 1013+”, da Zehntner, (Figura 60), cedido pela empresa Rapidus.



Figura 60 – Retroreflectómetro “ZRM 1013+”

Este instrumento de medição é um aparelho combinado e compacto, que mede directamente o valor do coeficiente de luminância retroreflectida em $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, e pode ser utilizado "in-situ" ou em laboratório, simulando as condições sob as quais as marcações são vistas à noite por um condutor que conduza com os faróis de médios, condições estas, estandardizadas, referidas no capítulo 3.

O retroreflectómetro é possível de ser utilizado para todo o tipo de marcação de estradas, nomeadamente em piso seco ou molhado, e possui uma elevada estabilidade de longa duração, garantindo assim uma precisão de medição e resultados fiáveis. É fácil de operar, e pode ser empregue no controlo das marcações das estradas após a sua aplicação e durante a sua vida útil, e na tomada de decisão sobre a necessidade de conservação.

5.4 Condições e Realização das Medições

As medições realizadas pretendem avaliar o comportamento das tintas utilizadas na marcação rodoviária, em termos de visibilidade, comparando os resultados obtidos com os valores exigidos pelas normas europeias, e estabelecendo relações de contraste entre as várias marcas analisadas e o pavimento betuminoso envolvente, fundamental para a visualização da marca por parte do condutor.

As características de visibilidade das amostras de tintas foram avaliadas em diferentes condições de iluminação, diurna e nocturna.

As condições em que se realizaram as medições diurnas foram as seguintes:

- Céu limpo e piso seco;
- Céu nublado e piso seco.

As medições nocturnas foram realizadas apenas com iluminação proveniente dos faróis do automóvel, isto é, sem a contribuição da iluminação vinda dos postes de iluminação pública, e para a situação de piso seco.

Não se realizaram medições em situação de piso molhado e chuva, quer diurnas, quer nocturnas, devido ao facto dos equipamentos não poderem ser operados nestas situações, apesar de esta ser uma circunstância de grande interesse, pois a visibilidade da marcação rodoviária tende a baixar com a presença da água, como já foi descrito no capítulo 3.

As condições geométricas de medição utilizadas na presente análise experimental são as estandardizadas na norma europeia, EN 1436, «Road marking materials – Road marking performance for road users», (Figura 61), referidas no capítulo 3, designadamente:

- Distância de visibilidade de 30m;
- Condutor de veículo ligeiro com os olhos a uma altura de 1,2m acima do nível da estrada;
- Faróis do automóvel a uma altura de 0,65m acima do nível da estrada.

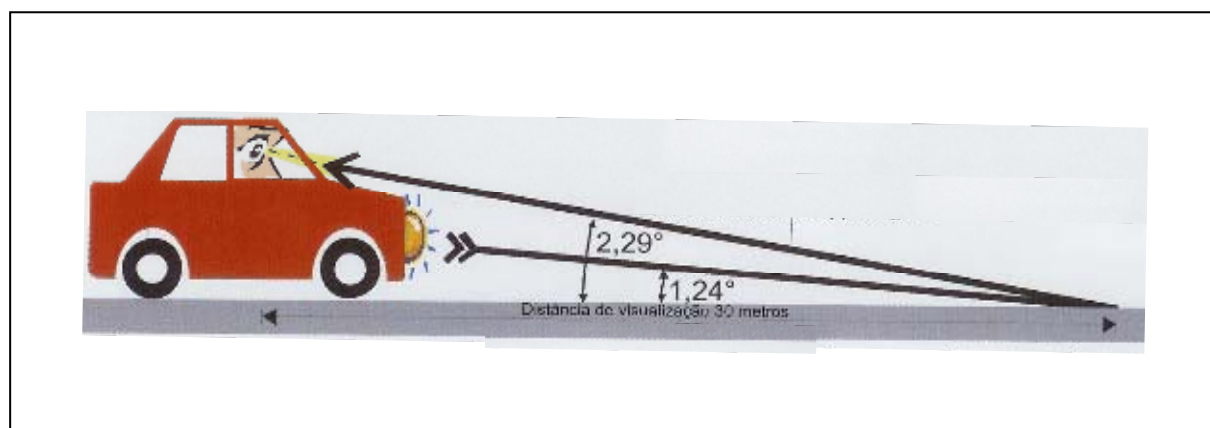


Figura 61 – Condições de medição

Os valores de luminância e de iluminância foram medidos apenas para a situação de iluminação diurna, através do medidor de luminância, “Minolta Luminance Meter LS-110”, e do medidor de iluminância, “J18 LumaColor II Photometer”, juntamente com o “J1811 Illuminance Head”, da Tektronix, pois como foi mencionado anteriormente, o aparelho utilizado para a medição da visibilidade nocturna fornece directamente o valor do coeficiente de luminância retroreflectada, R_L , não sendo necessário a medição do valor das respectivas luminâncias e iluminâncias, não existindo por isso, qualquer registo do valor destas duas grandezas.

5.5 Resultados das Medições

Os valores obtidos nas medições efectuadas aos vários tipos de tinta para as luminâncias e iluminâncias em condições de iluminação diurna e piso seco encontram-se apresentados nos quadros 27a, 27b, 27c, 28a, 28b e 28c, respectivamente para céu limpo, e 29a, 29b, 29c, 30a, 30b e 30c, respectivamente para céu nublado.

Tinta Acrílica de Um Componente			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	5894	5512	8135
	5974	5573	8366
	5737	5666	8175
	5935	5527	8389
	5904	5262	8486
	5852	5445	8388
	Valor Médio	5883	5498
Tinta Acrílica de Dois Componentes			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	6564	6215	7949
	6535	6109	7815
	6552	6188	7806
	6594	6127	7733
	6489	6096	7895
	6260	6195	7867
	Valor Médio	6499	6155
Tinta Acrílica de Dois Componentes			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	7949	7815	7806
	7733	7895	7867
	7844		

Quadro 27a – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de um componente

Tinta Acrílica de Dois Componentes			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	6564	6215	7949
	6535	6109	7815
	6552	6188	7806
	6594	6127	7733
	6489	6096	7895
	6260	6195	7867
	Valor Médio	6499	6155
Tinta Acrílica de Dois Componentes			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	7949	7815	7806
	7733	7895	7867
	7844		

Quadro 27b – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de dois componentes

Luminância L_m [cd/m ²]	Tinta Termoplástica	
	Sem Esferas	Com Esferas aplicadas "In Situ"
	5390	9739
	5435	9694
	5739	9888
	5476	9731
	5696	9561
Valor Médio	5515	9731

Quadro 27c – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta termoplástica

Iluminância E_L [lx]	Tinta Acrílica de Um Componente		
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	24900	24800	25300

Quadro 28a – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de um componente

Iluminância E_L [lx]	Tinta Acrílica de Dois Componentes		
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	23700	23700	24500

Quadro 28b – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta acrílica de dois componentes

Iluminância E_L [lx]	Tinta Termoplástica	
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas
	27200	30000

Quadro 28c – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para tinta termoplástica

Tinta Acrílica de Um Componente			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	1463	1409	983
	1589	1309	1006
	1467	1477	1102
	1446	1466	1120
	1441	1252	1121
	1375	1177	1113
Valor Médio	1464	1348	1074

Quadro 29a – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de um componente

Tinta Acrílica de Dois Componentes			
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
	1479	1572	1310
	1296	1261	1332
	1104	1444	1309
	1506	1333	1299
	1537	1245	1323
	1357	1401	1303
Valor Médio	1380	1376	1313

Quadro 29b – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de dois componentes

Tinta Termoplástica		
Luminância L_m [cd/m ²]	Sem Esferas	Com Esferas aplicadas "In Situ"
	1401	1363
	1400	1494
	1432	1327
	1438	1403
	1421	1477
	1417	1313
Valor Médio	1418	1396

Quadro 29c – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta termoplástica

Tinta Acrílica de Um Componente			
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
Iluminância E_L [lx]	7000	7060	6880

Quadro 30a – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de um componente

Tinta Acrílica de Dois Componentes			
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
Iluminância E_L [lx]	5200	5300	4900

Quadro 30b – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta acrílica de dois componentes

Tinta Termoplástica		
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas
Iluminância E_L [lx]	5500	5800

Quadro 30c – Valores de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para tinta termoplástica

É de referir que a aplicação das esferas de vidro nos moldes produzidos para o presente estudo experimental foi feita manualmente, não tendo sido utilizado um dispositivo apropriado de modo a garantir uma distribuição homogénea. Esta situação resulta numa distribuição deficiente das pérolas reflectoras, existindo por isso, no molde, áreas de grande concentração de esferas de vidro e áreas de grande dispersão de esferas de vidro. Devido a este facto, obteve-se por vezes, nas medições efectuadas, valores muito dispersos, levando assim a um maior cuidado na selecção dos valores medidos apresentados, quer nas medições diurnas, quer nas medições nocturnas apresentadas mais à frente.

Nos quadros que se seguem, (Quadro 31a e 31b), sintetizam-se os valores obtidos nos quadros anteriores referentes às medições efectuadas para a determinação das luminâncias e das iluminâncias em condições de iluminação diurna e piso seco para céu limpo e para céu nublado, respectivamente.

Tipo de Tinta	Luminância, L_m [cd/m ²]				Iluminância, E_L [lx]			
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Tinta Acrílica de Um Componente	5883	5498	8323	-	24900	24800	25300	-
Tinta Acrílica de Dois Componentes	6499	6155	7844	-	23700	23700	24500	-
Tinta Termoplástica	5515	-	-	9731	27200	-	-	30000

Quadro 31a – Resumo dos valores de luminância e de iluminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco

Tipo de Tinta	Luminância, L_m [cd/m ²]				Iluminância, E_L [lx]			
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Tinta Acrílica de Um Componente	1464	1348	1074	-	7000	7060	6880	-
Tinta Acrílica de Dois Componentes	1380	1376	1313	-	5200	5300	4900	-
Tinta Termoplástica	1418	-	-	1396	5500	-	-	5800

Quadro 31b – Resumo dos valores de luminância e de iluminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco

Analisando os resultados dos quadros 31a e 31b, verifica-se que a situação de tinta sem esferas e a situação de tinta com esferas pré-misturadas, independentemente do tipo de tinta, apresentam valores de luminância muito semelhantes, o que não é de estranhar, pois as esferas pré-misturadas encontram-se envolvidas em tinta (as amostras não foram sujeitas a nenhuma espécie de desgaste). Logo, a sua superfície não se encontra exposta de modo a provocar uma maior reflexão de luz na direcção de observação, sendo esta condição apenas possível para a situação de tinta com esferas de vidro aplicadas "in-situ" e em condição de céu limpo, verificada pelos resultados obtidos para a sua luminância, que

são significativamente superiores às situações de tinta sem esferas e com esferas pré-misturadas.

Na situação de céu nublado, ao contrário da situação de céu limpo, verifica-se que há uma diminuição dos valores de luminância das situações de tinta sem esferas e de tinta com esferas pré-misturadas para a situação de tinta com esferas de vidro aplicadas “in-situ”. Isto deve-se ao facto do céu se encontrar nublado e não existir por isso uma forte intensidade de luz incidente sobre a superfície da tinta, ou seja, a iluminação difusa existente é menor, havendo por isso menor luminosidade, não permitindo então que as esferas de vidro aplicadas “in-situ” desempenhem o seu papel de retroreflectoras. Por vezes as tintas com esferas de vidro aplicadas “in-situ” nestas condições atmosféricas têm tendência a parecerem mais escuras que as tintas sem pérolas à vista na sua superfície. Esta situação é resultante do sombreamento que as pérolas provocam e do impedimento do visionamento da tinta que elas causam.

Verifica-se ainda, que há uma ligeira diminuição do valor de luminância da situação de tinta sem esferas para a situação de tinta com esferas pré-misturadas. Isto poderá ser consequência de algum sombreamento provocado pela existência das pérolas reflectoras, que conferem à tinta uma superfície ligeiramente acidentada.

Conhecidos os valores de luminância e de iluminância das tintas ensaiadas, em condições de iluminação diurna, é possível determinar o valor do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , para as duas situações diurnas estudadas.

O método utilizado na sua determinação foi o método A, devido ao facto de o campo iluminado conter a área do campo a medir e devido à condição imposta pelo método B, em relação à área mínima exigida, que não é possível respeitar nesta campanha experimental.

Os valores do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, dados pela expressão, $Q_d = L_m / E_L$, encontram-se expostos nos quadros seguintes, (Quadro 32 e Quadro 33):

	Tipo de Tinta	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Qd $[mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}]$	Tinta Acrílica de Um Componente	236	222	329	-
	Tinta Acrílica de Dois Componentes	274	260	320	-
	Tinta Termoplástica	203	-	-	324

Quadro 32 – Valores do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para a situação de céu limpo e piso seco

	Tipo de Tinta	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Qd $[mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}]$	Tinta Acrílica de Um Componente	209	191	156	-
	Tinta Acrílica de Dois Componentes	265	260	268	-
	Tinta Termoplástica	258	-	-	241

Quadro 33 – Valores do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para a situação de céu nublado e piso seco

Verificam-se que os valores determinados satisfazem as normas europeias em relação à classe de comportamento mínima exigida, correspondente ao valor de $100 mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$. É ainda de comentar que, na maioria das situações, as tintas acrílicas de dois componentes e as tintas termoplásticas apresentam valores superiores às tintas acrílicas de um componente. Esta situação é satisfatória, pois a tinta acrílica de dois componentes e a tinta termoplástica são mais resistentes e duráveis que a tinta acrílica de um componente, sendo estas ideais para marcações que exigem classes de comportamento mais elevadas.

Quanto aos valores do coeficiente de luminância retroreflectida, resultantes da iluminação nocturna proveniente dos faróis do automóvel, estes encontram-se apresentados nos quadros 34a, 34b e 34c.

Tinta Acrílica de Um Componente			
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
Coef. de Luminância Retroreflectida R_L [mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]	34	50	110
	41	48	121
	29	51	135
	35	48	136
	55	73	127
	46	65	131
Valor Médio	40	56	127

Quadro 34a – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para tinta acrílica de um componente

Tinta Acrílica de Dois Componentes			
	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"
Coef. de Luminância Retroreflectida R_L [mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]	19	57	88
	20	65	56
	25	111	127
	30	60	60
	22	89	190
	28	59	110
Valor Médio	24	74	105

Quadro 34b – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para tinta acrílica de dois componentes

	Tinta Termoplástica	
	Sem Esferas	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Coef. de Luminância Retroreflectida R_L [mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]	45	277
	37	324
	40	251
	38	353
	43	348
	42	263
Valor Médio	41	303

Quadro 34c – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para tinta termoplástica

A dispersão de valores observada nos quadros anteriores, referentes ao coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para os vários tipos de tinta, resultam de uma distribuição deficiente de pérolas, como já foi referido anteriormente, pelo facto de estas terem sido aplicadas sem o auxílio de nenhum equipamento específico de modo a garantir uma distribuição homogénea destas.

No quadro que se segue, (Quadro 35), encontram-se sintetizados os valores médios dos coeficientes de luminância retroreflectidos obtidos para os diferentes materiais ensaiados, apresentados nos quadros anteriores, de modo a facilitar a sua leitura.

	Tipo de Tinta	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
R_L [mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]	Tinta Acrílica de Um Componente	40	56	127	-
	Tinta Acrílica de Dois Componentes	24	74	105	-
	Tinta Termoplástica	41	-	-	303

Quadro 35 – Valores do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco

Verifica-se pelo quadro 35 que as tintas sem esferas e as tintas com esferas pré-misturadas, independentemente do tipo de tinta, não satisfazem o valor mínimo para o coeficiente de luminância retroreflectida, exigido pelas normas europeias, cujo valor é de $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Apenas as situações de tinta com esferas pré-misturadas e aplicadas “in-situ” e tintas com esferas apenas aplicadas “in-situ”, garantem a classe de comportamento mínima exigida.

Estes resultados reforçam e demonstram de facto a importância da contribuição das pérolas reflectoras para a visibilidade nocturna. São as pérolas reflectoras que garantem a retroreflexão da luz incidente na marca rodoviária na direcção de observação do condutor, permitindo assim que esta seja visível, condição esta essencial para garantir uma boa visibilidade em condições de iluminação proveniente dos faróis de um automóvel, permitindo assim grande comodidade e segurança na condução.

Concluindo, comparando os valores obtidos das medições efectuadas no estudo experimental para o coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e para o coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , com os mínimos exigidos pelas normas europeias, identificados no capítulo 3, verifica-se que estes satisfazem os mínimos exigidos. É importante não esquecer que a presença das pérolas reflectoras é indispensável para a visibilidade nocturna de modo a garantir um bom comportamento por parte das marcas rodoviárias. Logo, é possível concluir que os materiais ensaiados são de boa qualidade, pois respeitam os valores exigidos de modo a garantir um bom desempenho da sinalização horizontal.

Sendo o contraste o efeito de acentuação, de realce, de uma superfície em relação a outra envolvente, este é facilmente determinável através das luminâncias de cada uma das superfícies. A expressão do contraste, $C = (L_m - L_s)/L_s$, expressa a proporção de luminância da marca rodoviária que é superior à do pavimento, ou seja, expressa quantitativamente o excesso de luminância da marca em relação ao pavimento envolvente.

Apresentam-se em seguida os resultados do cálculo do contraste apenas para a campanha experimental diurna, pois o equipamento utilizado para a medição do coeficiente de luminância retroreflectida na campanha nocturna mede directamente o seu valor, não havendo qualquer registo do valor das luminâncias. Nos quadros 36a e 36b estão representados os valores das luminâncias do pavimento betuminoso envolvente à marca rodoviária, em condições de iluminação diurna (céu limpo e céu nublado) e piso seco, de modo a ser possível o cálculo do contraste.

	Pavimento
Luminância L_s $[cd/m^2]$	1043
	1120
	1116
	1107
	1079
	1083
Valor Médio	1091

Quadro 36a – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu limpo e piso seco para o pavimento betuminoso

	Pavimento
Luminância L_s $[cd/m^2]$	216
	235
	242
	222
	213
	231
Valor Médio	226

Quadro 36b – Valores de luminância em condições de iluminação diurna com céu nublado e piso seco para o pavimento betuminoso

Nos quadros seguintes, (Quadro 37a e Quadro 37b), encontram-se representados os resultados do contraste calculados:

	Tipo de Tinta	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Contraste	Tinta Acrílica de Um Componente	4,392	4,039	6,629	-
	Tinta Acrílica de Dois Componentes	4,957	4,642	6,190	-
	Tinta Termoplástica	4,055	-	-	7,919

Quadro 37a – Valores do contraste para a campanha experimental diurna com céu limpo e piso seco

	Tipo de Tinta	Sem Esferas	Com Esferas Pré-misturadas	Com Esferas Pré-misturadas e aplicadas "In Situ"	Com Esferas aplicadas "In Situ"
Contraste	Tinta Acrílica de Um Componente	5,478	4,965	3,752	-
	Tinta Acrílica de Dois Componentes	5,106	5,088	4,810	-
	Tinta Termoplástica	5,274	-	-	5,177

Quadro 37b – Valores do contraste para a campanha experimental diurna com céu nublado e piso seco

Da análise dos quadros 37a e 37b, verifica-se que as situações de tinta sem esferas e de tinta com esferas pré-misturadas apresentam valores de contraste diurno muito semelhantes. Quanto à situação de tinta com esferas de vidro aplicadas “in-situ”, em condições de piso seco e céu limpo, (Quadro 37a), averigua-se que há uma subida do contraste diurno em relação às outras tipologias de tinta ensaiadas. Este aumento deve-se à presença das esferas, que permite uma maior reflexão da luz incidente, fazendo com que a tinta tenha maior destaque do pavimento envolvente.

No quadro 37b, para piso seco e céu nublado, verifica-se exactamente o contrário, isto é, há uma descida dos valores do contraste diurno das situações de tinta sem esferas e de tinta com esferas pré-misturadas para a situação de tinta com esferas de vidro aplicadas “in-situ”. Esta situação é devida à condição climatérica que não proporciona uma luz incidente, sobre a superfície da tinta, de grande intensidade, fazendo com que a marca pareça mais escura, resultante do sombreamento que as pérolas provocam e do impedimento de visionamento da tinta que estas causam (situação já descrita anteriormente).

Independentemente de alguns valores do contraste diurno serem superiores para algumas tipologias de tinta e inferiores para outras, pode-se afirmar que a visibilidade das marcas rodoviárias está garantida para qualquer situação de iluminação diurna, pois como já foi referido no capítulo 3, as cores utilizadas para as marcas rodoviárias, sendo claras, contrastam com os pavimentos envolventes.

5.6 Evolução das Características de Visibilidade com o Número de Rodados

Na impossibilidade de realizar um estudo da evolução das características de visibilidade das marcas rodoviárias ao longo do tempo, nomeadamente, em relação ao número de passagem de rodados sobre estas, analisaram-se alguns relatórios de homologação de forma a examinar a evolução do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e do coeficiente de luminância retroreflectida, R_L .

Apresentam-se, de seguida, dois quadros, (Quadro 38 e Quadro 39), retirados de dois relatórios de homologação, um da Alemanha e outro de Espanha, referentes a uma tinta acrílica branca de dois componentes com esferas de vidro pré-misturadas, (adequada para marcações frequente e permanentemente pisadas), [20], e a uma tinta acrílica branca de um componente com esferas de vidro pré-misturadas e aplicadas “in-situ”, (adequada para marcações raramente pisadas), [21], respectivamente. Os quadros traduzem a evolução das suas características de visibilidade em função do número de rodados passados sobre estas.

		Número de Rodados [Milhões]							
		0	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Q_d [mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]		240	236	233	232	229	218	213	204
R_L	Piso Seco	347	556	535	532	492	441	429	361
[mcd*m ⁻² *lx ⁻¹]	Piso Molhado	342	320	233	214	212	201	188	141

Quadro 38 – Valores que traduzem a evolução das características de visibilidade para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados

		Número de Rodados [Milhões]							
		0	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Q_d [mcd*m-2*lx-1]		221	185	183	177	171	169	164	156
R_L [mcd*m-2*lx-1]	Piso Seco	362	332	300	284	253	246	224	207

Quadro 39 – Valores que traduzem a evolução das características de visibilidade para uma tinta acrílica de um componente branca, em função do número de rodados

De forma a analisar mais facilmente os valores definidos nos quadros 38 e 39, apresenta-se graficamente a citada evolução das características de visibilidade nas figuras que se seguem, (Figuras 62, 63, 64, 65 e 66):

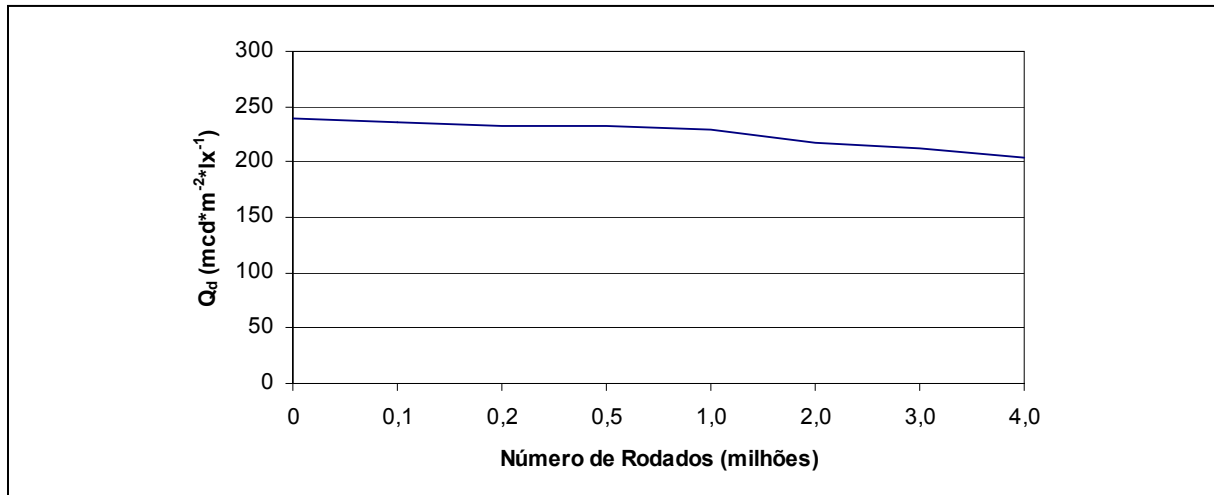


Figura 62 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados

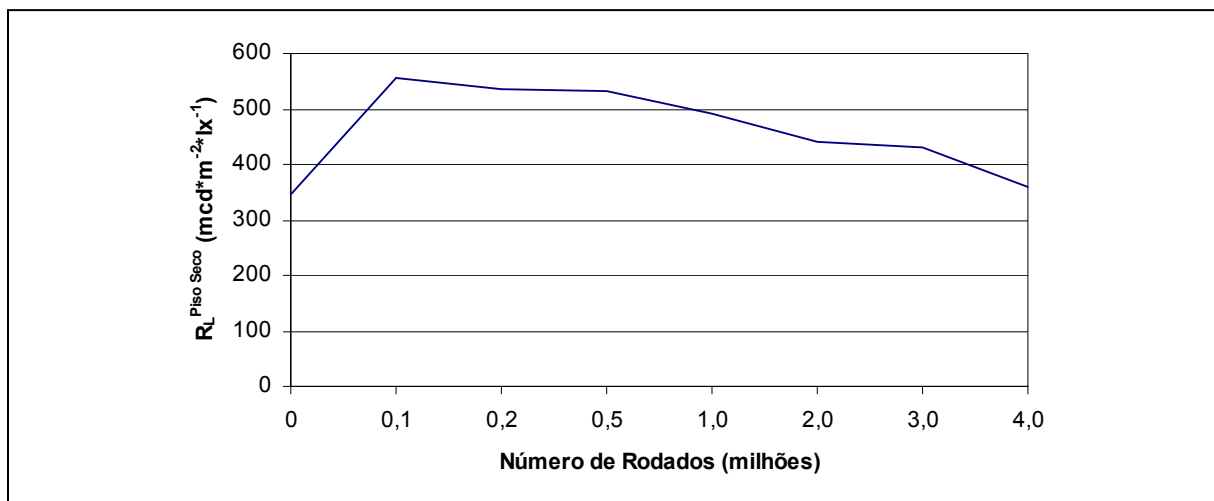


Figura 63 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados

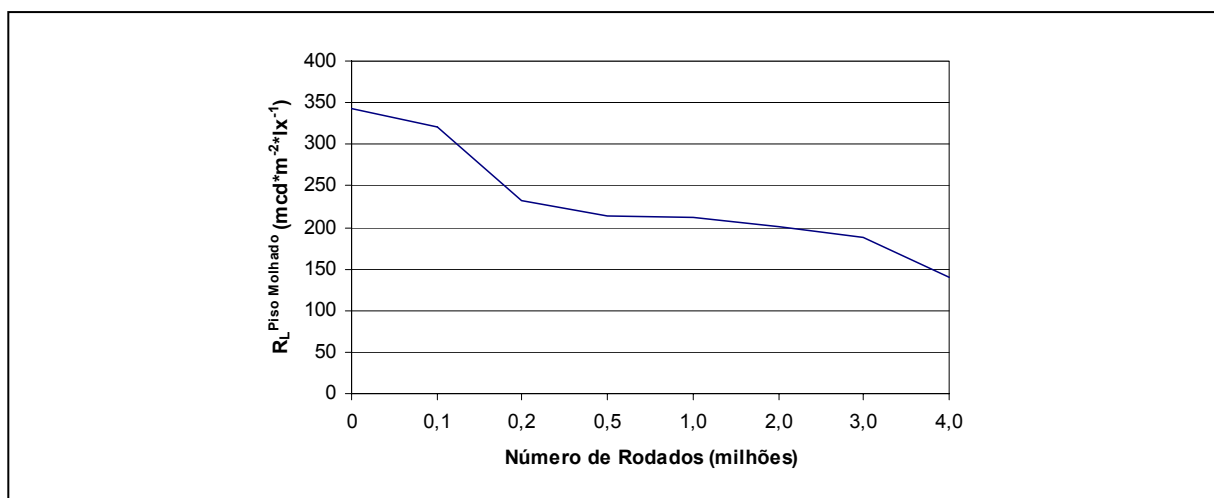


Figura 64 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância retroreflectida em piso molhado para uma tinta acrílica de dois componentes branca, em função do número de rodados

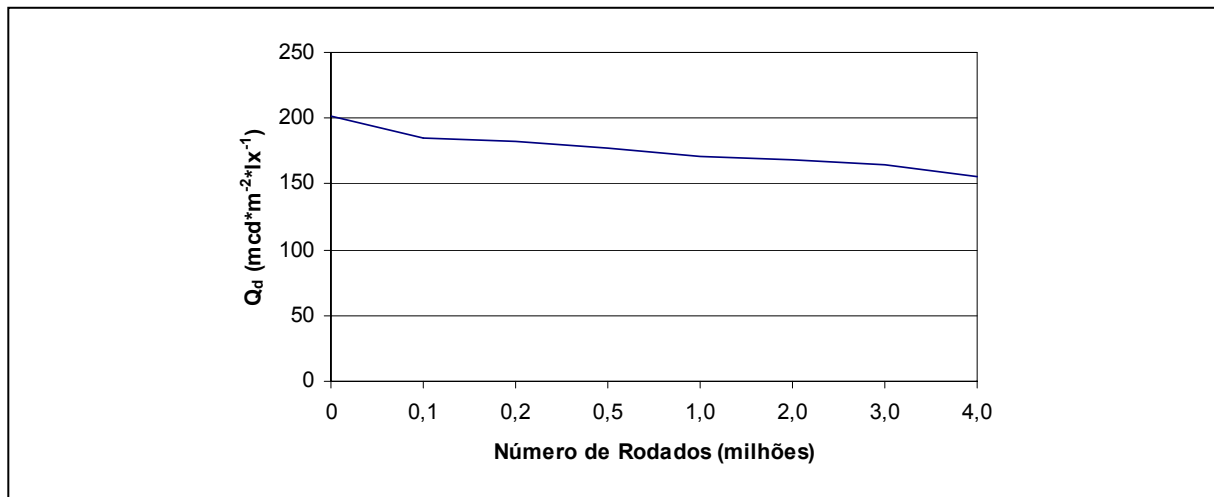


Figura 65 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa para uma tinta acrílica de um componente branca, em função do número de rodados

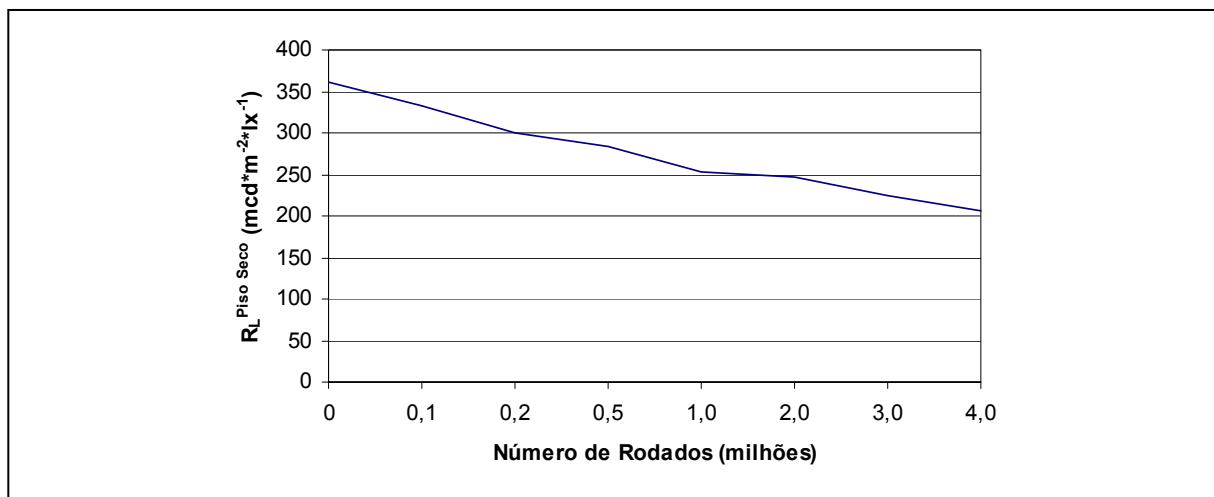


Figura 66 – Evolução gráfica do coeficiente de luminância retroreflectida em piso seco para uma tinta acrílica de um componente branca, em função do número de rodados

A variação das características de visibilidade, de acordo com o número de passagens de rodados, foi examinada considerando tráfego constituído por veículos ligeiros e uma velocidade de circulação de 60km/h.

Analisando as figuras anteriores, verifica-se que ambas as tintas referidas têm comportamentos semelhantes aos diferentes números de passagens de rodados. O coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , (Figuras 62 e 65), diminui ao longo do tempo em função do desgaste sofrido, isto é, quanto maior o número de passagens de rodados, menor é o seu valor. Como se pode observar pelas curvas traçadas nas figuras correspondentes, esta diminuição é feita suavemente, havendo assim uma degradação constante ao longo do tempo.

Como já foi referido num capítulo anterior, em condições de iluminação difusa é possível obter-se uma boa visibilidade de uma marca rodoviária, independentemente das condições atmosféricas, dado que as cores utilizadas para as marcas, sendo claras, contrastam com o pavimento existente. Por este motivo se pode afirmar que as principais causas da diminuição do coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa ao longo do tempo se devem à passagem dos rodados e à acumulação de sujidade na superfície da marca que provoca o seu escurecimento, diminuindo o contraste com o pavimento envolvente.

Quanto ao coeficiente de luminância retroreflectida, R_L , para a tinta acrílica branca de dois componentes, figura 63, verifica-se que em situação de piso seco existe um aumento do seu valor numa fase inicial em relação à tinta acrílica branca de um componente, figura 66. Esta subida deve-se ao facto de as pérolas reflectoras na tinta acrílica de dois componentes se encontrarem envolvidas em tinta, numa fase inicial, e apenas com o tempo e devido ao desgaste sofrido é que ficam expostas e colocadas a descoberto, ficando à vista, resultando assim um aumento de retroreflexão.

No caso da tinta acrílica de um componente, como existem pérolas reflectoras aplicadas “in-situ”, ou seja, pérolas à vista, a retroreflexão inicial está assegurada por estas, verificando-se assim uma diminuição do coeficiente de luminância retroreflectida sem que haja um aumento inicial do seu valor. Esta diminuição do coeficiente de luminância retroreflectida, verificada para qualquer tipo de tinta, é devida à passagem dos rodados dos veículos, de onde resulta uma perda de pérolas reflectoras, consequência do facto de se soltarem da marca rodoviária.

Em situação de piso molhado, para a tinta acrílica branca de dois componentes, ao contrário do que se verificou para piso seco, não existe aumento do coeficiente de luminância retroreflectida numa fase inicial, (Figuras 64), pois a presença de água acumulada na superfície da marca evita a penetração da luz proveniente dos faróis de um automóvel nas pérolas reflectoras. Esta condição impede que haja retroreflexão na direcção de observação do condutor, condicionando assim o bom desempenho das esferas de vidro.

Comparando os vários valores para cada característica referida nos quadros 38 e 39, para os diferentes números de passagem de rodados, verifica-se que estes satisfazem os valores mínimos exigidos pelas normas europeias referidas nos capítulos 3 e 4, independentemente do tipo de pavimento envolvente existente.

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas Futuras de Desenvolvimento

Capítulo 6

Conclusões e Perspectivas Futuras de Desenvolvimento

Este trabalho foi dedicado ao tema geral das “características de visibilidade das marcas rodoviárias”, concretizado, sobretudo, no estudo do comportamento das marcas rodoviárias através da análise das classes de comportamento exigidas pelas normas europeias e através dos ensaios realizados a vários tipos de materiais utilizados na sua materialização. Teve como principal motivação o facto de existir falta de conhecimentos adequados e aprofundados das características essenciais e necessárias a serem garantidas, de modo a assegurar um bom comportamento da sinalização horizontal, devido à ausência de regulamentação nacional neste domínio.

Tal como se descreveu no capítulo de introdução, o trabalho foi organizado em seis capítulos, abrangendo quatro grandes temáticas:

- Descrição dos diferentes tipos de marcas rodoviárias e das suas principais funções;
- Análise dos requisitos exigidos aos materiais utilizados na marcação rodoviária, mais concretamente às características de visibilidade e descrição dos métodos utilizados na sua avaliação;
- Referência às classes de comportamento mínimas exigidas às características de visibilidade, através do critério “pass/fail”;
- Análise experimental das características de visibilidade de alguns materiais utilizados na materialização das marcas rodoviárias.

Apresentam-se, de seguida, algumas das principais conclusões, dúvidas e desafios, resultantes da presente dissertação.

Os materiais utilizados na sinalização rodoviária devem ter capacidade de resistir ao sol, à chuva e ao desgaste permanente, não devendo sofrer alterações em relação às suas características básicas, mantendo-se uniforme e garantindo segurança, quer de dia, quer de noite, para quem circula nas estradas.

A combinação de uma boa sinalização horizontal, de um pavimento de boa qualidade e de uma adequada aplicação da marca sobre a superfície deste, é condição perfeita para se obterem resultados positivos no tráfego, com menos congestionamento e acidentes, pois não é suficiente a aplicação de material de sinalização nas vias públicas como solução de um problema. É necessário uma combinação de várias condições adequadas a cada situação.

A sinalização das vias públicas é algo de extrema importância para uma condução harmoniosa e eficiente e para a orientação do trânsito. Para realçar a sua importância, existem três documentos oficiais nacionais, já referidos no capítulo 2, Código da Estrada, Regulamento de Sinalização do Trânsito e Norma de Marcas Rodoviárias, que descrevem a importância do seu uso para a orientação do trânsito, nomeadamente o significado dos vários tipos de marcação existentes e as características no que respeita às formas, cores, inscrições, símbolos e dimensões, bem como os materiais a utilizar e as regras de colocação. Da leitura destes documentos, podem-se extrair várias conclusões, bem como dúvidas e indignações.

No tocante às conclusões, é possível perceber que as autoridades de trânsito não têm andado a observar muito atentamente a sinalização horizontal existente, pois segundo o artigo nº 1, capítulo 1, do Regulamento de Sinalização do Trânsito, a sinalização deve ser perfeitamente visível e legível em qualquer condição. Isso nem sempre se verifica, nas estradas portuguesas, (Figura 67), e mais ainda, no caso de estradas secundárias ou de pouco movimento, o que é substancialmente preocupante pois a omissão diante da realidade cobra um preço demasiado elevado à sociedade.



Figura 67 – Marcação rodoviária pouco visível e legível

É ainda de realçar a falta na regulamentação nacional, de uma disposição que obrigue a que nenhuma via possa ser entregue após a sua construção ou reaberta ao trânsito após a realização de obras ou de manutenção, enquanto não estiver devidamente sinalizada horizontalmente, de forma a garantir as condições adequadas de segurança na circulação, (Figura 68). A adopção de uma disposição deste género poderá ser eficiente na melhoria da qualidade das estradas portuguesas, referente a uma adequada sinalização rodoviária.



Figura 68 – Via não sinalizada horizontalmente

Já as dúvidas e indignações que a leitura dos documentos geram, aparecem citadas no ponto em que o regulamento refere que a sinalização deverá estar de acordo com a legislação actualmente em vigor, situação esta, que nem sempre é cumprida.

Quanto aos métodos de eliminação, referidos na secção 4.7, estes também não são respeitados pelas autoridades competentes, pois como é possível observar na figura 69, continua-se a utilizar o processo de recobrimento como forma para apagar marcas rodoviárias já existentes.



Figura 69 – Processo de recobrimento não adequado para eliminação de marcas rodoviárias

Portugal, em relação à sinalização, carece de conhecimento, estudo e dinâmica de realização. Esta situação é perceptível por todos face à realidade existente e confirmada pelas figuras apresentadas no presente capítulo, de várias marcas rodoviárias existentes nas estradas portuguesas. É necessário começar a analisar, sensibilizar e propor soluções mais comuns aos países desenvolvidos, como a utilização de materiais mais resistentes e de melhor qualidade de modo a confrontar o mercado de produtos para marcação rodoviária com uma dimensão própria.

É necessário também dinamizar e actualizar constantemente os meios, os produtos, as regras e a implementação de técnicas e sistemas capazes de dar satisfação à mudança, de modo a proporcionar alterações à situação rodoviária existente compatibilizando-a com as necessidades dos utentes e os actuais conceitos europeus sobre os critérios mínimos exigidos, designadamente para as características de visibilidade, quer diurnas, quer nocturnas, nomeadamente no que respeita ao coeficiente de luminância em condições de iluminação difusa, Q_d , e ao coeficiente de luminância retroreflectida, R_L .

As normas europeias exigem valores mínimos de $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ para estes dois coeficientes, nomeadamente para as marcas de cor branca e condição de piso seco. Estes valores mínimos foram satisfeitos pelos materiais ensaiados no trabalho experimental realizado, pelo que se pode afirmar e concluir que os materiais ensaiados são de boa qualidade, mas estes representam uma amostra muito reduzida dos materiais existentes, não sendo suficientes para que se possa assegurar que os produtos aplicados em geral são de boa qualidade e garantem uma boa performance das marcas rodoviárias.

É de extrema importância lembrar que a escolha do material mais adequado para qualquer marca rodoviária depende da função a ser desempenhada por esta, ou seja, do comportamento exigido ao longo da sua vida útil, dependendo este de vários parâmetros, designadamente, da superfície do pavimento sobre a qual a marca é aplicada, do material utilizado na materialização da marcação, da própria localização da marca na estrada e do tipo e densidade de tráfego existente. É da responsabilidade das autoridades competentes a definição das classes de comportamento mais adequadas para cada situação em especificações nacionais, de modo a facilitar e contribuir para uma melhor escolha dos aspectos mais importantes a ter em conta para cada marca rodoviária dependendo da sua tipologia.

Sendo assim, percebe-se que ainda há muito que fazer, principalmente no tocante à qualidade dos materiais empregues nas estradas, pois a insatisfação com o desempenho das tintas utilizadas na sinalização rodoviária existente leva à necessidade de desenvolver novos produtos a serem utilizados na marcação de pavimentos e à necessidade de adquirir nova tecnologia.

O mercado de produtos para marcação rodoviária existente deve ser pioneira no avanço tecnológico, dedicando-se não só à pesquisa de novos produtos, mas também ao aprimoramento dos materiais, da assistência técnica, do atendimento ao cliente e da manutenção do sistema de qualidade, de forma a atender às necessidades de qualidade e segurança necessárias às estradas portuguesas.

Os laboratórios existentes nas fábricas produtoras de tintas para marcação rodoviária devem garantir as homologações necessárias e o controlo de qualidade de todas as matérias-primas utilizadas e dos produtos em processo de fabricação e em fase de armazenamento e venda, necessitando para isso, a elaboração urgente de uma norma nacional que, de acordo com as normas europeias, defina as características primordiais a exigir aos materiais fabricados para a sinalização horizontal de forma a conseguir a uniformidade e coerência indispensáveis.

Não é leviano afirmar que a sinalização horizontal ainda não conseguiu cumprir de forma plena o seu papel de orientar e melhorar a segurança dos utentes das vias, pois os números relativos aos acidentes não escondem a necessidade de uma maior utilização das marcações rodoviárias e de uma melhoria na qualidade dos materiais empregues.

O mercado da sinalização horizontal necessita de um crescimento, de modo a conquistar a devida importância, pois muitas vias ainda não estão sinalizadas de forma adequada e apresentam algum comprometimento no que respeita às condições do pavimento, passando pela qualidade do material utilizado para sinalizar as vias, até à deficiência dos projectos de implementação da própria sinalização. Isto, no fundo, arruína o sistema viário nacional, simplesmente porque nem o pavimento nem a sinalização, sob esta óptica, suportam muito tempo o tráfego de veículos, sendo necessários constantes trabalhos de reparação, troca de equipamentos e contratação de serviços de manutenção.

No entanto, é importante destacar que a consciencialização da importância da sinalização rodoviária não deve partir apenas dos responsáveis por ela, designadamente o governo, mas de quem é a principal vítima da sua insuficiência, a população. Assim, cabe também a cada um dos utentes exigir sinalização horizontal eficiente e de qualidade, reclamando às autoridades competentes sempre que esta deixar de ser funcional e satisfatória às suas necessidades, sendo este um gesto que proporciona aumento da sua segurança e valorização do exercício de cidadania.

Melhorias significativas nas condições das vias e educação permanente dos condutores, de modo a circularem de acordo com as condições climatéricas e as condições de piso existentes, optando por velocidades que permitam avistar veículos e obstáculos que se precedem, (Figura 70), de forma a evitar incidentes desagradáveis, bastando para isso, o uso do bom senso, são factores preponderantes para salvaguardar a vida das pessoas nas estradas portuguesas.

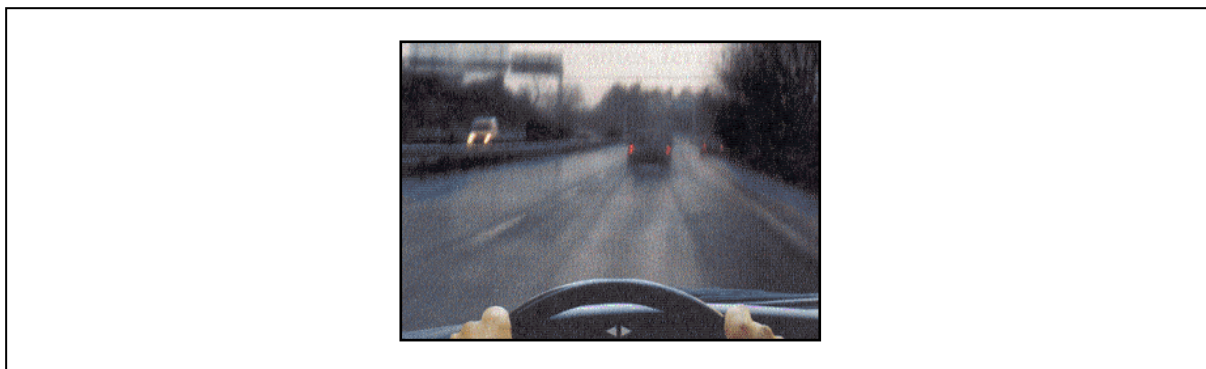


Figura 70 – Condução moderada

Quanto à conservação e manutenção das marcas rodoviárias, é necessário uma consciência crescente sobre a sua importância, admitindo que os sistemas de marcação de estradas desempenham um papel importante no auxílio da orientação visual dos utentes das vias. Os trabalhos de sinalização viária, particularmente trabalhos de conservação e manutenção, exigem em sua aplicação uma constante melhoria e modernização das unidades de aplicação, no sentido de estar cada vez mais capacitada para atender ao binómio rapidez e qualidade, sendo actualmente de suma importância, a minimização de interdições demoradas, que obrigam a enfrentar congestionamentos e desvios incómodos, ocasionando consequentemente frequentes transtornos e reclamações.

Quando se vê algum trabalho de conservação rodoviária, (Figura 71), a sensação, na maioria das vezes, é de um certo alívio de que, num futuro muito breve, aquela estrada vai estar em melhores condições de tráfego. No entanto, é necessário ter consciência de um aspecto crucial: serviços que se repetem com muita frequência, numa mesma estrada, podem ser indicativos de que o material aplicado na manutenção é de baixa qualidade e de vida útil de curta duração. Assim, serviços e materiais inadequados em vez de proporcionarem uma efectiva melhoria, constituem um perigoso disfarce, prejudicando a sociedade.



Figura 71 – Trabalhos de conservação

Os pequenos avanços que a tecnologia em sinalização horizontal tem sofrido, são devidos à chegada ao País, de novos conhecimentos, vindos essencialmente da Europa, que consistem essencialmente em materiais muito mais resistentes em relação aos que convencionalmente vêm sendo empregues, com maior durabilidade e melhores propriedades de visibilidade, nomeadamente visibilidade diurna (luminância) e retroreflexão noturna acentuadas sob chuva e neblina, alta resistência às intempéries e variações climáticas e resistência elevada ao desgaste e a agentes químicos como gasolina, álcool, gasóleo e outros.

As tintas convencionais têm durabilidade inferior aos novos materiais. Em locais onde há muito trânsito de veículos, em pouco tempo esta desaparece sem deixar vestígios. Por esse motivo, é necessário refazer a pintura em curto espaço de tempo, tornando a manutenção onerosa. Por vezes, a repetição da pintura demora a acontecer, abrindo espaço para que acidentes ocorram com mais facilidade e frequência.

As intensidades de tráfego actualmente existentes e previsíveis para a rede rodoviária nacional justificam a importância cada vez maior que hoje se dá às marcas rodoviárias, vulgarmente designadas por sinalização horizontal, como um contributo indispensável para a melhoria da segurança rodoviária. Deste modo, as marcas rodoviárias não são mais consideradas como complemento da sinalização vertical, mas sim como um equipamento insubstituível da via, cujo custo-benefício não se pode menosprezar.

No presente trabalho, analisaram-se alguns materiais existentes no mercado para marcação rodoviária, suas aplicações, características e listaram-se as principais funções que estas devem desempenhar, sensibilizando assim para a importância que as marcas têm em fornecer um guiamento adequado e seguro ao condutor, transmitindo as prescrições necessárias e ajudando em determinadas manobras particulares.

Com a realização deste trabalho despertou-se uma grande vontade e um enorme interesse em continuar e aprofundar o tema das marcas rodoviárias, de forma a enriquecer o conhecimento do seu comportamento, pois verifica-se a existência de um vazio normativo relativamente às características a exigir e aos parâmetros a ensaiar e observar durante a vida útil das marcas rodoviárias de forma a garantir uma maior eficiência e qualidade de desempenho da sinalização horizontal.

É necessário criar uma nova consciência sobre a importância da sinalização horizontal e da sua conservação e auscultação.

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

- [1]. Vasconcelos, Maria Celeste – “Marcação de Faixas de Rodagem”.
- [2]. Lopez, Emiliano Moreno; Coronel, Fernando Mirada – “Sinálizacion Horizontal - Visibilidad Nocturna de las Marcas Viales”. Madrid, 1993.
- [3]. JAE – “Norma de Marcas Rodoviárias”, 1995.
- [4]. Roque, Carlos de Almeida – “Marcação Rodoviária”. Março de 2002.
- [5]. Salvendy, Gavriel – “Handbook of Human Factors”.
- [6]. Ministério da Indústria e Energia – Dec-Lei Nº 427/83 de 7 de Dezembro de 1983.
- [7]. Sanders, Mark S.; McCormick, Ernest J. – “Human Factors in Engineering and Design”, 1987.
- [8]. CEN/TC 226 N 653 – Mandate M/111 – “Circulation Fixtures”. CEN, 22 de Setembro de 2003.
- [9]. CEN/TC 226 Internal Enquiry – Revision of EN 1436:1997 (WI 00226xxx) – “Road Marking Materials - Road Marking Performance for Road Users”. CEN, 20 de Maio de 2003.
- [10]. Lei Geral de Obras Públicas – Dec-Lei Nº 59/99 de 2 de Março de 1999.
- [11]. JAE – 14.05 – “Equipamento de Sinalização e Segurança - Características dos Materiais”.
- [12]. LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – “Ecodyn”.
- [13]. JAE – 14.05.1 – “Material para Execução de Marcas Rodoviárias”.
- [14]. European Standard – Draft EN 1871:2000 – “Road Marking Materials - Physical Properties”. CEN, prA1, Dezembro de 2001.

- [15]. European Standard – Draft EN 1790:1998 – “Road Marking Materials - Preformed Road Markings”. CEN, prA1, Dezembro de 2001.
- [16]. Xequavia – Documentos sobre “Equipamento Utilizado na Execução das Marcas Rodoviárias”.
- [17]. Rapidus – Documentos sobre “Equipamento Utilizado na Execução das Marcas Rodoviárias”.
- [18]. Portugal – Documentos Cedidos pelas Empresas Emplas, Lanis e 3M sobre, “Material Utilizado por estas Empresas na Execução de Marcas Rodoviárias”.
- [19]. Bast Alemão – 97 1Y 12.01 – “Bundesanstalt für Straßenwesen”, 30 de Junho de 1999.
- [20]. Bast Alemão – 2000 1DK 02.17 – “Bundesanstalt für Straßenwesen”, 9 de Novembro de 2000.
- [21]. Aetec – “Asociación para el Estudio de las Tecnologías de Equipamiento de Carreteras, S.A.”, 15 de Dezembro de 2004.